مقدمة المؤلف

PREFACE AUTHOR

من الطبيعي أن يكون مهندس مصادر المياه الذي يعمل في المجال الاستشاري ، مهتماً بتطوير حلول المشكلات الهيدرولوجية والهيدروليكية في عالم التطبيق الحقيقي وذلك بأسلوب سريع نسبياً، عن طريق استخدام طرق بسيطة للتحليلات والتصميمات. وفي كثير من المواقف العملية لابد من اتخاذ قرارات مهمة وذلك اعتماداً على كميات محدودة من البيانات، وكما أن هناك قليل من الموارد وقليل من الزمن المتاح لجمع كل المعلومات والبيانات اللازمة لأداء دراسات معقدة تتضمن أحدث طرق الصياغة والتحليلات. ويتم غالباً عمل حسابات بسيطة نسبياً لتطوير خطط المشروع التي يمكن أن تتضمن استثمارات مالية وافرة ويمكن أن يكون لها تطبيقات اجتماعية ومالية وبيئية مهمة. ويتم معالجة الصياغة والتحليلات المعقدة والمطورة إذا كانت ضرورية على أنها دراسات خاصة.

يشمل هذا الكتاب الطرق والمعادلات التي يمكن تطبيقها في المجالات ذات المستويات المختلفة من البيانات المتاحة، وبوجه خاص عندما تكون البيانات المتاحة الخاصة بالموقع غير كافية. ويركز العرض على كيفية حل المشكلة العملية التي توجد في أقل عدد من الكتابات البحثية ويحاول أن يوفق بين المعادلات المعروفة نظرياً والأحوال الواقعية. يتم عرض الطرق لتطوير التصميمات التمهيدية، التي يجب أن يتم مراجعتها أو تعديلها عن طريق الصياغة الفيزيائية أو الرقمية الإضافية، والتجريب،

obeikandl.com

والاختبارات الميدانية. ويمكن أن يتضح أن بعض التبسيطات والتقريبات والطرق، تافهة بل وحتى غير مناسبة للمتخصص في هيدرولوجيا المياه الجوفية والمياه السطحية، وميكانيكا الموائع، وجودة المياه، وموضوعات أخرى متعلقة بها، لكنها يمكن أن تبدو ملائمة لعمل مهندس مصادر المياه. وبشكل عام يمكن أن تتضمن التصميمات النهائية تحليلات بنائية إضافية، وتحليلات واختبارات تغير خصائص التربة، وإعداد الرسومات التفصيلية، وتقديرات التكلفة.

يستهدف هذا الكتاب المهندس الاستشاري، الذي يحمل درجة البكالوريوس في الهندسة أو العلوم التطبيقية مع بعض الخبرة العملية، والطالب المتخرج الذي يخطط لدراسة الطرق شائعة الاستخدام في التحليل ليدخل إلى المجال الاستشاري، والمهندس الممارس الذي قام بمراجعة الدراسات أو التصميمات التي قام بإعدادها آخرون. يتوقع من القارئ أن يكون له معرفة بالأسس الهيدروليكية، وميكانيكا الموائع، والهيدرولوجيا ويجب أن يكون قد توصل إلى المراجع القياسية حول هذا الموضوع.

تشمل المادة العلمية المعروضة في هذا الكتاب إجابات على مشكلات محددة من خلال الصيغ والمعادلات شائعة الاستخدام ومراجع لقيم الثوابت والمعاملات التي تتعلق بالموضوع. وتتدرج الإجراءات الحسابية من "الحسابات المتعجلة" حتى الحسابات التفصيلية بعض الشيء، والتي تسمح لمستويات متعددة من البيانات المتاحة. وهناك مراجع مذكورة لهذه النماذج شائعة الاستخدام. وقد تم تجنب المناقشة التفصيلية للنماذج المركبة والمعقدة والموضوعات البحثية. إن تقييد حجم هذا الكتاب قد حال دون مناقشة أسس الموضوعات والمبادئ الأساسية والاستنتاجات الرياضية، وكان التركيز على عرض المادة العلمية التي يمكن أن تكون قابلة للاستخدام من قبل مهندس مصادر المياه الممارس.

إهداء المترجم

COURTESY TRANSLATOR

أهدي هذا العمل المتواضع إلى خير الأباء و إلى خير الأمم.

المترجم

obeikandl.com


obeikandl.com

شكر وتقدير

ACKNOWLEDGEMENTS TRANSLATOR

يتقدم المترجم بجزيل الشكر وجميل العرفان للشيخ محمد بن حسين العمودي على تمويله ودعمه لبرنامج كراسي البحث بجامعة الملك سعود ttp://www.ksu.edu.sa، حيث مول ثلاثة كراسي بحثية، ومنها "كرسي الشيخ محمد بن حسين العمودي في أبحاث المياه" http://awc.ksu,edu.sa، ويعد هذا الكتاب باكورة إنتاج الترجمة للكرسي ضمن محور التأليف والترجمة.

كما يود المترجم التعبير عن خالص الشكر والتقدير للمهندس محمد سيد عبدالجيد المعيد بقسم الهندسة الزراعية http://ageng.ksu.edu.sa على جهوده المضنية والتي بذلها معنا في تنسيق الكتاب ونسخه كتابتا على الحاسب الآلي وإخراجه بالصورة المشرفة، فله منا أجمل الثنايا وأثمن العطايا.

المترجم

obeikandl.com


obeikandl.com

مقدمة المترجم

PREFACE TRANSLATOR

تحتاج المكتبة العربية إلى مزيد من الكتب العربية في المجالات العلمية المختلفة وبخاصة في المجالات الطبية والهندسية. وهذا الكتاب تكمن أهميته أيضاً في كونه يتعلق بموضوع حيوي وهو المياه الذي هو عصب الحياة وشريانها التاجي. ومما لاشك فيه أن المتخصص والباحث العربي في شؤون المياه، مهما كان لديه من القدرة على التحدث بلغة أخرى غير لغته الأم، فإنه في حاجة مستمرة وملحة لأن يكون لديه كتباً علميةً أصيلةً بلغته العربية التي يتقنها إتقاناً كبيراً يفوق تلك التي تعلمها في مراحل حياته المتقدمة.

وهذا الكتاب المترجم يحتوي على سبعة فصول حيث يتناول الفصل الثاني والثالث أهم المواضيع العملية المتعلقة بالمياه، وهما الهيدرولوجيا والهيدروليكا، حيث تتعلق المفردة الأولى "الهيدرولوجيا" بعلم المياه، بينما تتعلق المردفة الأخرى "الهيدروليكا" بهندسة المياه. وبالطبع، فقد كان الفصل الأول عبارة عن مقدمة يتناول فيها المؤلف ثلاث موضوعات رئيسة هي "هندسة مصادر المياه"، و "تخطيط مشروعات هندسة مصادر المياه"، بالإضافة إلى "توثيق دراسات هندسة مصادر المياه". كما خصص المؤلف فصلاً كاملاً عن المياه الجوفية وهو الفصل الرابع، أما الفصل الخامس فقد تناول فيه المؤلف موضوعاً بعنوان "التصاميم الهيدرولويكية".


obeikandl.com

شكر المؤلف

ACKNOWLEDGMENTS AUTHOR

يشعر المؤلف بالامتنان لزوجته، تشاندرا كانتا، لدعمها، وتحفيزها، وتشجيعها أثناء الإعداد لإكمال هذا الكتاب. ويتوجه بالشكر أيضاً لـ URS (السدود والمستنقعات سابقاً)، المروج الدوارة، إلينوى، لدعمهم، ولسوزان كولادوناتو وشارلوت ماك ناوتون من ASCE لمساعدتهم وتشجيعهم. وأخيراً، يشعر المؤلف بالامتنان لابنته، مانجوب شارما، و ابنه، د. أجى براكاش، لمساعدتهم.

obeikandl.com


obeikandl.com

تبرؤ المؤلف

AUTHOR'S DISCLAIMER

يقصد من الطرق المعروضة في هذا الكتاب أن تستخدم لمستوى الجدوى ولعمل التصميات التمهيدية مع عوامل السلامة والتعديلات المناسبة اعتماداً على الحكم الاحترافي. الخلاصات والنتائج المستخلصة من التطبيقات الدقيقة وغير الدقيقة للطرق هي مسئولية المستخدم وحده. ولا يتحمل المؤلف، ومؤلفو المراجع ، والناشر أي مسئولية لعواقب مثل هذه الخلاصات والنتائج. المادة العلمية المعروضة لا تعكس سياسات أو ممارسات المؤلف.

obeikandl.com

الفصل الأول

مقدمة

INTRODUCTION

هندسة مصادر المياه

Water Resources Engineering

يشمل موضوع هندسة مصادر المياه طرق التحليلات الهيدرولوجية والهيدروليكية وتحليلات المياه الجوفية المتعلقة بتخطيط وتصميم المعالجة، والإمداد بالمياه، والتحكم في الفيضان، والمباني الملاحية، والأنواع المختلفة من الأبنية الهيدروليكية، وتدفق المياه الجوفية والمياه السطحية، وفحص الجودة، وتحليلات التأثيرات البيئية علي المشروعات المختلفة المتعلقة بالمياه، وكذلك تصميمات الأبنية الهيدروليكية الملحقة. يمكن أن تتنوع التحليلات بدءاً من استخدام المعادلات العددية أو المعادلات التحليلية إلى استخدام نماذج الحاسب الآلي البسيطة أو المطورة، بناءً على متطلبات المشروعات المحددة. إن تلك التصميمات قد تشمل الأحجام المبدئية والنهائية للمكونات المختلفة للبنية الهيدروليكية. إن نطاق المبدأ الأساسي يعتبر متسعاً وشاملاً حيث إنه يشمل كل الأوجه الخاصة بالدراسات والتصاميم المتعلقة بالمياه. ومن وجهة نظر مهندس المياه الجوفية الممارس، فإن موضوع هندسة مصادر المياه يمكن أن يشمل عناصر أساسية للأنظمة المتعلقة بالمياه (مثل هيدرولوجيا المياه السطحية، وهيدرولوجيا المياه الجوفية، وميكانيكا الموائع، وهيدروليكا القنوات المائية المفتوحة، ونقل الرواسب، وتصميم

obeikandi.com

الأبنية الهيدروليكية بما فيها السدود والمفائض والقنوات، ومباني الملاحة والتحكم في الفيضان، وأنظمة الإمداد بالمياه، وحماية الشواطئ، والطاقة المائية، ومنشآت الري). وهناك وفرة من الدراسات المنشورة التي تنصب على موضوعات عديدة متخصصة تهتم بكل من المجالات المذكورة أعلاه. إلا أنه، وبسبب محدودية البيانات والميزانيات أو الأهداف ونطاق المشروعات المحددة، فغالباً ما يكون مطلوباً من مهندس مصادر المياه الممارس تغطية معظم هذه الموضوعات على مستوى أساسي وتفصيلي إلى حد ما. ويشار إلى الدراسات المتخصصة، عند ضمان فعاليتها على أنها تخصصية في المجالات الخاصة بها.

وقد ركزت مشروعات تطوير مصادر المياه الأولى أساساً على الجوانب الهندسية. وقد ألقت الخبرة المكتسبة من تشغيل مشروعات هندسة مصادر المياه السابقة الضوء على بعض من أثارها العكسية على الموارد الطبيعية الأخرى والبيئة. ومع زيادة الكثافة السكانية ونقص الموارد الطبيعية، تزايد الاهتمام بالآثار المجملة لمشروعات هندسة مصادر المياه. إن التخطيط والتصميم لمشروع هندسة مصادر المياه اليوم ولسنوات وعقود قادمة يجب أن يأخذ في الاعتبار آثاره على الموارد الأخرى (مثل الأحياء المائية، والنظام البيئي، والتجدد، والترفيه). ويجب أن يشتمل على التوقع الكمي لحجم ومعدل التدفق الحجمي للمياه، وطرق التحكم في حجم المياه والتدفق لخدمة الحاجات المختلفة للمجتمع، وإدارة مصادر المياه المحدودة تحت قيود الكمية والجودة، وفوق كل شيء، عواقب التقاطعات للخطة المقترحة.

وتتناسب تفاصيل الموضوعات العديدة المذكورة في هذا الكتاب مع متطلبات مهندس مصادر المياه الممارس، كما إن المواصفات المختصرة للمعادلات المختلفة والتقنيات التحليلية المبسطة المعروضة في الفصول المتنوعة هي بهدف أن يكون كتاباً مرجعياً وليس كتاباً دراسياً. ويحتوي الكتاب على أمثلة عملية توضح طرقاً محددة

للحسابات أو التحليلات. ويجب على القارئ أن يرجع إلى الدراسات الأخرى المتعلقة بالموضوع للإطلاع على التحليلات المطورة والتفاصيل النظرية للطرق الموصوفة في هذا الكتاب. ومن الأمثلة على بعض تلك المراجع: McCuen (1989)، Ponce (1989) و Bras (1990)، Maidment (1993)، ASCE (1996) للتحليل الهيدرولوجي (الفصل الثاني). Chapra (1997)، Martin and McCutcheon (1999)، Tchobanoglous and Burton (1991) و Potter and Wiggert (1991)، Brater *et al.* (1996) للتحليل الهيدروليكي (الفصل الثالث). و Zheng and Bennett (2002)، Fetter (2001)، Domenico and Batu (1998)، Fetter (1999)، Delleur (1999)، Charbeneau (2000)، Schwartz (1998) و Anderson and Woessner (1992) للماء الأرضي (الفصل الرابع). و Zipparro and Hansen (1993)، Simons and Senturk (1992)، Mays (1999)، USBR (1987) و Barfield *et al.* (1981) للتصاميم الهيدروليكية (الفصل الخامس). و Linsley *et al.* (1992) للتحليلات الاقتصادية (الفصل السادس). بالإضافة إلى عدد آخر من المراجع وثيقة الصلة اشتملت عليها قائمة المراجع.

تخطيط مشروعات هندسة مصادر المياه

Planning of Water Resources Engineering Projects

إن المشروع النموذجي الذي يُطلب من مهندس مصادر المياه القيام بالتخطيط له وتحليله وتصميمه قد يشمل التحليل الهيدرولوجي والتحليل الهيدروليكي وتقييم المياه الجوفية وتصميم الأبنية الهيدروليكية والتحليل الاقتصادي لمشروعات تطوير مصادر المياه وتقييم الآثار البيئية للأنشطة المتعلقة بالمياه. ويتضمن التخطيط للانتهاء من مثل هذه المشروعات ما يلي:

• **تعيين الأهداف**: من خلال قائمة من الأهداف المحددة أو النتائج التي يتوقع أن يحققها المشروع أو ينجزها.

• **تحليل النطاق**: ويشمل هذا تحديد تتابع المهام التقنية اللازم إنهاؤها لتحقيق الأهداف المذكورة (مثل، جمع المعلومات، وفحص الموقع، والتحليلات التي تشمل نماذج الحاسب، وإعداد التصاميم والرسومات، وإعداد التقارير).

• **متطلبات البرامجيات والمعدات الأخرى**: يشمل ذلك التعرف على نماذج الكمبيوتر والمعدات (مثل الأوتوكاد، وخدمات نظم المعلومات الجغرافية GIS، ومعدات مسح الحقل وجمع البيانات) المطلوبة من أجل استكمال التحليلات اللازمة أو لإعداد التصميمات المقترحة للأبنية الهيدروليكية.

• **تقدير التكلفة**: ويشمل هذا تقدير ساعات العمل والأنشطة الأخرى التي قد تؤثر عل تكلفة المشروع (مثل عمليات المسح والمراقبة الميدانية وتفتيش الموقع ووسائل الاتصالات والعروض والتحليلات وإنتاج التقارير والرسومات وخطط الإنشاء).

• **الجدولة**: ويشمل هذا إعداد جدول لاستكمال المهمات الفنية مع التوثيق المتعلق بها، ولابد من ملاحظة أن جمع البيانات الميدانية والمعلومات المتعلقة بذلك من مصادر مختلفة تعد مهام مستهلكة للوقت ولابد من استكمالها قبل أداء أي مهام أخرى.

توثيق دراسات هندسة مصادر المياه

Documentation of Water Resources Engineering Studies

يمثل إعداد التقارير أو توثيق الطرق والنتائج جزءاً مهماً من الدراسات المتعلقة بهندسة مصادر المياه. يعتمد تنظيم وتفاصيل محتويات تقرير الدراسة على مجال الدراسة (مثل المياه السطحية، والمياه الجوفية، وجودة المياه، والأثر البيئي، والنمذجة، والمعالجة، ودراسة تصميم مستوى الجدوى)، ونطاق الدراسة، ونوع القيادة (مثل،

الجمهور العام، أو الوكالات المنظمة، أو المخططين والمصممين، أو مقاولي البناء).
ويمكن أن يشمل تقرير دراسة هندسة مصادر المياه النموذجي العناصر الأساسية التالية:

• **العنوان:** يجب أن يكون العنوان مختصراً وأن يشير إلى الهدف الأساسي للدراسة مثل "الدراسة الهيدرولوجية لحوض سيلفر جريك بكنساس"، "تقييم احتمال إمداد المياه الجوفية بإقليم ساراسوتا، فلوريدا".

• **جدول المحتويات:** يجب أن يشمل جدول المحتويات العناوين الرئيسة والفرعية وقوائم الجداول والصور والمراجع والملحقات والفهارس ولابد أن تكون كلها ذات ترقيم.

• **الملخص التنفيذي:** إذا كان التقرير كبيراً، لابد من وجود ملخص يصف النتائج الرئيسة وحدود الدراسة، وأما بالنسبة للتقارير القصيرة نسبياً فقد يتم اشتمال ذلك في الاستنتاج الأخير والتوصيات.

• **المقدمة:** يجب أن تشتمل المقدمة على وصف ملخص للمشكلة التي يتم تحليلها والأهداف والمجال والمنهج العام للدراسة والمراجع من أجل القراءة والاستزادة. وبالإضافة إلى ذلك لابد من أن يكون هناك وصف مختصر للموقع ومكانه والبيئة المائية في الجوار القريب أيضاً. وذلك قد يشمل المجاري المائية القريبة والبحيرات ومتوسط المطر السنوي وسقوط الجليد والمسارات الخاصة بالجريان السطحي للماء وتبخر المياه من السطح الحر بالمنطقة. وبالنسبة لتقرير التصميم، فإنه قد يشمل الموقع والغرض من الأبنية الهيدروليكية.

• **الخصائص الهيدرولوجية لمناشئ المياه أو منطقة الدراسة:** في حالة الدراسة المتعلقة بهيدرولوجية المياه السطحية فيجب أن يشمل الامتداد الفعلي وأنواع التربة

وغطاءاها والطول الهيدروليكي وانحدارات مجاري السريان الفرعية ، والبيانات الأخرى المتعلقة بتقدير أزمنة التركيز وأزمنة الإعاقة وأعماق التساقط للفترات المطلوبة وفترات العودة (الرجوع)، ومعلومات حول سقوط الجليد وذوبانه. وفي حالة دراسة التصميم، فإن ذلك قد يشمل وصف بنيات المجاري المائية حيث توجد البنيات الهيدروليكية (أقصى تدفق سبعة أيام- عشر سنوات، التدفق المنخفض، ومساحة منطقة الصرف). وفي حالة دراسة المياه الجوفية والتي يجب أن تشمل تخطيط لدراسة طويلة للمنطقة وذلك لابد أن يتمشى مع الحدود الهيدروليكية مثل المجاري المائية والبحيرات وتقسيمات المياه الجوفية، وبيانات حول متوسط التساقط والتسرب والبخر-نتح وموقع وأحجام البحيرات والمياه الأرضية في منطقة الدراسة.

• **جمع البيانات والتحليل**: إن ذلك يشمل بيانات خاصة بالموقع ومعلومات هيدرولوجية إقليمية يتم تجميعها من مصادر مختلفة مثل بيانات نزول المطر والتدفق بالمجرى المائي بالنسبة للمحطات الموجودة في المنطقة، والبيانات الجيولوجية المائية الخاصة بالطبقة الحاملة للمياه، وبيانات عن المسح الطبوغرافي واستخدامات المياه السطحية والمياه الأرضية. البيانات الأولية الضخمة التي لا يمكن أن تعرض في المرجع المذكور يجب أن تشتمل عليها الملحقات. هناك طرق لتحليل وفحص البيانات من أجل استخلاص أو تطوير القيم أو أنظمة البيانات من أجل استخدامها في الدراسة ولابد من اشتمال ذلك في هذا القطاع. بالإضافة إلى ذلك لابد من وجود قيود علي دقة البيانات وتحليلها وضبط استخدام البيانات والقيم أو طرق التحليل وتبرير استخدام مجموعات البيانات، أو القيم، أو الطرق المختارة للتحليل.

• **الدراسات التحليلية أو العددية أو غيرها**: ذلك يجب أن يشمل طرق التحليل أو المحاكاة والمعادلات ووصف النماذج الفيزيائية والرقمية مع الافتراضات الواضحة

أو الضمنية والمراجع المناسبة. ويجب أن تحتوي طرق ونتائج معايرة وصلاحية النموذج. تحليلات الحساسية لتوضيح حساسية النتائج للاختلافات في البيانات وقيمها خلال الحدود المسموح بها ويجب أن يتم توثيقها في هذا القطاع. وإن التفاصيل التي يجب اشتمالها قد تختلف اعتماداً على الهدف والمجال والمتلقين لتقرير الدراسة. وفي دراسات التصميم، قد يشمل ذلك طرق وحسابات لتطوير العديد من أبعاد التصميم المختلفة.

• **النتائج**: إن ذلك يجب أن يشمل نتائج الدراسة مع حدود الدقة. ويجب أن يتم وصف طرق التحقق وإظهار معقولية النتائج (مثل المقارنة مع البيانات المماثلة لمواقع أخرى، والتقديرات المعتمدة على طرق أخرى أكثر بساطة أو عملية أكثر، والقيم المنشورة لحالات مماثلة).

• **الخاتمة والتوصيات**: يجب أن تشمل بعناية الاستنتاجات المصاغة حول الدراسة مع بيان واضح بقيود النتائج. ويجب أن تشمل التوصيات التحذيرات المناسبة والحاجة للتعديل عن طريق الدراسات الإضافية، إذا كانت وثيقة الصلة بالموضوع. ويجب أن تكون الصياغة واضحة لتجنب التفسير الخاطئ من قبل القارئ المستهدف.

• **الجداول والأشكال**: يجب أن يتم توضيح النص من خلال بيانات ملائمة من خلال الجداول والأشكال والصور الفوتوغرافية. وفي أحوال عديدة يتم تمثيل المعلومات المهمة بأسلوب موجز من خلال الجداول والأشكال.

• **المراجع**: البيانات الرئيسة المستخدمة للدراسة يجب أن يكون لها مرجع يُستشهد به، يمكن أن يرجع إليه القارئ للتحقق أو للحصول على معلومات إضافية

متعلقة بالموضوع. ويجب أن يكون المرجع الذي يُستشهد به كاملاً ومشتملاً على المؤلف (المؤلفين)، وسنة النشر، والعنوان، والناشر.

• الملاحق: البيانات التي تستخدم للدراسة ولكنها غير متاحة في المراجع التي تم الإشارة إليها ولا يمكن اشتمالها في النص الأساسي (بدون تشتيت انتباه القارئ) يجب أن توضع في الملاحق.

في الواقع العملي يُنصح بإعداد مسودة للتقرير ليقوم بمراجعتها الزملاء، والمحررين، وأي متلقين آخرين مستهدفين. ويجب أن تكتمل المسودة بعد دمج الردود على تعليقات المراجعة. ولإيضاح العرض، يمكن تقسيم المقاطع الرئيسة إلى مقاطع فرعية تحتوي على المعلومات حول الموضوعات الفرعية المنفصلة.

obeikandl.com

الفصل الثاني

التحليل الهيدرولوجي

HYDROLOGIC ANALYSES

يشمل موضوع الهيدرولوجيا (علم المياه)، دراسة وتحليل حدوث، وتدفق، وتوزيع الماء خلال الدورة الهيدرولوجية، والتي تشمل نقل الرطوبة من المحيط إلى الجو، وسطح الأرض، ثم العودة إلى المحيط. وتكون التحليلات الهيدرولوجية مطلوبة في معظم المشروعات التي تشمل التخطيط، أو التصميم، أو الإنشاء، أو الترميم، أو المعالجة، أو تقييم الجدوى للأنواع المختلفة من المباني. وبرغم أن أنواع التحليلات الهيدرولوجية المطلوبة لأنواع مختلفة من المشروعات ربما تكون مختلفة بعض الشيء، إلا أن المبادئ الأساسية والمنهجيات تكون متماثلة بوجه عام. والتحليلات الهيدرولوجية الشائعة الاستخدام للأنواع المختلفة من المشروعات تشمل التالي:

١- مشروعات التنمية الاجتماعية

• تحليل شدة سقوط المطر- المدة- التكرار أو تحليل سقوط المطر- العمق- المدة- التكرار.

• تقدير قمم التدفقات السابقة واللاحقة لتصميم أنظمة صرف العواصف، ومعايرة البرابخ والجسور، ودراسات تأمين الفيضان، وتخطيط السهل الفيضي.

• تطوير وتحديد المنحنيات المائية للجريان السطحي للتدفق المفاجئ لتصميم أحواض الاحتجاز/ التوقيف والأراضي الرطبة.

obeikandl.com

• تحليل حصيلة الماء في المجاري المائية والخزانات وأحواض الصرف.

٢- مشروعات التعدين

• تقدير قمم التدفقات لتصميم قنوات التحويل.

• تطوير وتحديد المنحنى المائي للجريان السطحي لتصميم أحواض الترسيب وأربطة النفايات.

• تقييم خصائص التدفق المنخفض للمجاري المائية المستقبلة لترسب ماء المنجم الفائض.

• تقدير الجريان السطحي الذي ينتج أحواض الصرف المحتملة بما فيها انسياب الجليد الذائب.

• تقدير أحوال التعدين السابقة واللاحقة للتقارير البيئية.

٣- السدود، والخزانات، والمفائض

• إنتاج متتابعات من تدفقات المجاري المائية لتقييم حصيلة حوض الصرف.

• التحليلات الهيدرولوجية لمعرفة الاعتمادية على إمداد المياه المتاح.

• التحليلات الهيدرولوجية لحساب تخزين الخزان المطلوب.

• تحديد المنحنيات المائية لتصميم حوض الفيضان في المفائض الذي تساهم به نزول الأمطار وذوبان الجليد أو كلاهما.

• تحديد الخزان لمعايرة المفائض والخزانات والسدود.

• تحليل تشغيل الخزان للاستخدام المنفرد والمتعدد للمياه المتاحة.

• تحليل التدفق المنخفض للمجرى المائي لحساب متطلبات تدفق المجرى المائي.

• تحليل تصدع السد لتقييم السلامة وتحليل المخاطر.

obeikandl.com

• تقييم الظروف السابقة واللاحقة لفيضان المشروع وتدفق المجاري المائية لأجل عمل التقارير البيئية.

٤- مشروعات الطاقة الكهرومائية

• توليد متتابعات من تدفقات المجاري المائية لتقييم حصيلة حوض الصرف.

• التحليلات الهيدرولوجية لحساب قابلية الاعتماد على إمداد الماء المتاح.

• دراسات تشغيل الخزان لحساب القمة والكمية الثابتة لجهد توليد الطاقة.

• التقييم السابق واللاحق لأنماط تدفق المجاري المائية في المشروع يومياً وشهرياً.

٥- مشروعات الطاقة النووية

• تقدير أقصى تسريب محتمل أثناء العواصف محلياً وبشكل عام.

• تحديد أقصى فيضان محتمل وتصميم المنحنيات المائية لفيضان حوض النهر.

• تحديد المنحنيات المائية لفيضان تصدع السد.

• تحديد المنحنيات المائية للحدث المتحد (مثلاً، ذوبان الجليد المتحد مع أقل من أقصى حدث تسريب محتمل).

• تقدير التدفقات المنخفضة للمجارى المائية لتقييم أثار تراجع مياه التبريد لترسبات الماء الفائض من محطة الطاقة.

• تقدير أقصى حمل جليد محتمل على المباني المتعلقة بالسلامة.

وبشكل عام، فإن التقارير البيئية لمعظم مشروعات التطوير تتطلب التقييم السابق واللاحق لتدفقات المجاري المائية يومياً وشهرياً، والمنحنيات المائية للفيضان، وتدفقات القمة، والتدفقات المنخفضة للمجارى المائية في الجوار القريب من الموقع.

التحليلات الهيدرولوجية المطلوبة للتسهيلات المذكورة أعلاه يتم وصفها في الأجزاء اللاحقة من هذا الفصل.

تقدير تدفقات القمة
Estimation of Peak Flows

تكون تقديرات تدفقات القمة مطلوبة لأجل التصميات الهيدروليكية للجسور والبرابخ، ولتحليلات شكل سطح الماء لأجل دراسات تأمين الفيضان، ولتقييم الفيضان المحتمل في مواقع مختلفة. من المرغوب فيه عمل تقدير لتدفقات القمة باستخدام طرق عديدة مختلفة واختيار القيم المعقولة عن طريق الحكم. بعض الطرق شائعة الاستخدام لتحديد المنحنيات المائية للجريان السطحي يتم وصفها في هذا الجزء تحت عنوان "المنحنيات المائية للجريان السطحي". ويمكن استخدام المنحنيات المائية للجريان السطحي كذلك لتقدير تدفقات القمة.

الطريقة المنطقية Rational Method

المعادلة المنطقية لتقدير تدفقات القمة هي:

$$Q = 0.2755\,C\,I\,A \qquad (٢,١)$$

حيث إن:

Q = تدفق القمة (م³/ ث).

C = معامل الجريان السطحي (لابعدي) المقدر عن طريق الحكم في ضوء القيم النموذجية المعطاة في الجدول رقم (٢,١).

I = شدة سقوط المطر في فترة العودة المطلوبة، المناظرة للمدة المساوية لزمن تركيز حوض الصرف (مم/ ساعة).

A = مساحة حوض الصرف (كم²).

وهذه الطريقة مفيدة لتقدير تدفقات القمة لفترات العودة المختلفة لأحواض صرف بمساحة أقل من ٢,٥كم٢، برغم أن المبادئ الأساسية لأحواض الصرف يمكن أن تكون قابلة للتطبيق على مساحات تصريف أكبر أيضاً.

معاملات الجريان السطحي Runoff Coefficients

القيم شائعة الاستخدام لمعاملات الجريان السطحي موضحة في الجدول رقم (٢,١) (ASCE 1976). والقيم المعطاة في الجدول رقم (٢,١) قابلة للتطبيق للعواصف التي تمتد فترات عودتها من خمس سنوات إلى عشر سنوات. والقيم الأعلى يمكن استخدامها لفترات عودة أكبر ولأنواع تربة طفلية متماسكة. وفي حالة أحواض صرف تشمل أنواع مختلفة من المساحات، يمكن حساب معامل الجريان السطحي الموزون أو المركب باستخدام العلاقة:

$$C = (C_1 A_1 + C_2 A_2 + C_3 A_3 + \dots C_n A_n) / A_t \qquad (٢,٢)$$

حيث إن:

C = معامل الجريان السطحي المركب.

$C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ = معاملات الجريان السطحي التي تطبق على مساحات $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$، على الترتيب.

n = عدد الأنواع المختلفة من المساحات داخل حوض الصرف.

A_t = المساحة الكلية = $A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$.

زمن التركيز Time of Concentration

يعرف زمن التركيز على أنه الزمن المستغرق من قبل الجريان السطحي للانتقال من أعلى نقطة في التجمع المائي إلى النقطة الذي سيقدر عندها تدفق القمة. وقد تم اقتراح طرق متعددة لتقدير زمن التركيز (MacCuen *et al.* 1984; USBR 1977, 1987).

الجدول رقم (١,٢). قيم معاملات الجريان السطحي شائعة الاستخدام.

وصف المنطقة	معامل الجريان السطحي
المناطق التجارية بوسط البلد	٠,٧٠ – ٠,٩٥
المناطق التجارية المجاورة	٠,٥٠ – ٠,٧٠
مناطق إقامة العائلات	٠,٣٠ – ٠,٥٠
المناطق السكنية متعددة الوحدات المنفصلة	٠,٤٠ – ٠,٦٠
المناطق السكنية المتصلة	٠,٦٠ – ٠,٧٥
الضواحي السكنية	٠,٢٥ – ٠,٤٠
الشقق	٠,٥٠ – ٠,٧٠
المناطق الصناعية غير الكثيفة	٠,٥٠ – ٠,٨٠
المناطق الصناعية الكثيفة	٠,٦٠ – ٠,٩٠
الحدائق والمقابر	٠,١٠ – ٠,٢٥
الملاعب	٠,٢٠ – ٠,٣٥
السكك الحديدية	٠,٢٠ – ٠,٣٥
الطرق غير الممهدة	٠,١٠ – ٠,٣٠
الطرق الممهدة بالاسمنت	٠,٧٠ – ٠,٩٥
الأرصفة أو الخرسانة	٠,٧٠ – ٠,٨٥
الأسطح	٠,٧٥ – ٠,٩٥
أرض خضراء ذات تربة رملية (أفقية إلى ميل ٢٪)	٠,٠٥ – ٠,١٠
أرض خضراء ذات تربة رملية (ميل من ٢٪ إلى ٧٪)	٠,١٠ – ٠,١٥
أرض خضراء ذات تربة رملية (ميل أكبر من ٧٪)	٠,١٥ – ٠,٢٠
أرض خضراء ذات تربة ثقيلة (أفقية إلى ميل ٢٪)	٠,١٣ – ٠,١٧
أرض خضراء ذات تربة ثقيلة (ميل من ٢٪ إلى ٧٪)	٠,١٨ – ٠,٢٢
أرض خضراء ذات تربة ثقيلة (ميل أكبر من ٧٪)	٠,٢٥ – ٠,٣٥

المصدر: ASCE (1976).

obeikandl.com

ومن الممارسة الجيدة استخدام ثلاث طرق مختلفة على الأقل لتقدير زمن التركيز. وعلى مدى هذه التقديرات، فإن القيمة النهائية يجب أن يتم اختيارها عن طريق الحكم. بعض الطرق البسيطة والمفيدة نسبياً موضحة أدناه.

١ - طريقة كريبيش (USBR 1977)

$$t_c = \left(0.87\, L^3 / H\right)^{0.385} \qquad (٢,٣)$$

حيث إن:

t_c = زمن التركيز (ساعة).

L = طول أطول مسار للماء (كم).

H = الفرق في الارتفاع بين أعلى نقطة للتجمع المائي والموضع الذي يقدر عنده معدل التصرف (م).

تؤدى هذه الطريقة إلى تقديرات منخفضة نسبياً لقيمة t_c (Prakash 1987).

٢ - طريقة رقم منحنى خدمة المحافظة على التربة (USDA 1972, 1985)

$$t_L = 1.347\, L_f^{\,0.8} \left(S_a + 2.54\right)^{0.7} / \left(1900\sqrt{S_p}\right) \qquad (٢,٤)$$

$$t_L = 0.6\, t_c \qquad (٢,٥)$$

$$S_a = \left(2540 / CN\right) - 25.4 \qquad (٢,٦)$$

حيث إن:

t_L = زمن تأخر حوض النهر (ساعة).

L_f = الطول الهيدروليكي للمجرى المائي (م).

CN = رقم منحنى مجرى الماء.

S_a = أقصى احتباس محتمل (سم).

S_p = متوسط ميل أرض المجرى المائي (نسبة مئوية).

obeikandl.com

وقد وجد أن هذه الطريق تؤدى إلى قيمة كبيرة نسبياً لـ t_L (Prakash 1987).

٣- طريقة سنيدر (Chow 1964)

$$t_L = 0.7517\, C_t \left(L\, L_{ca}\right)^{0.3} \qquad (٢,٧)$$

حيث إن:

L_{ca} = الطول على امتداد أطول مسار للماء من الموضع الذي سيتم عنده تقدير التصرف إلى مركز متوسط مجرى الماء (كم).

C_t = معامل.

ويمكن اعتبار قيمة C_t على أنها تساوي ٢,٠ لأحواض الصرف الجبلية الضخمة بعض الشيء الشبيهة بمرتفعات أبالتشاين، وتساوي ٠,٤ لأحواض الصرف الشبيهة بتلك التي توجد في جنوب كاليفورنيا، ومن ٠,٧ إلى ١,٠ لأحواض الصرف الشبيهة بمناطق سيرا نيفادا، وتساوي ٨,٠ لأحواض الصرف التي تحد الخليج الشرقي للمكسيك. وقد أدى تحليل ٢٠ حوض نهر في شمال ووسط الولايات الأطلنطية إلى العلاقة العملية:

$$C_t = 0.6/\sqrt{S} \qquad (٢,٨)$$

حيث إن:

S = ميل حوض النهر (م/ م). وبقدر الإمكان ينصح باستخدام قيم C_t المعايرة.

٤- طريقة مكتب استصلاح الأراضي بالولايات المتحدة (USBR 1987)

$$t_L = 4.6167\, K_n \left[L\, L_{ca} / S^{0.5}\right]^{0.33} \qquad (٢,٩)$$

حيث إن:

S = ميل أطول مسار للماء (م/ م).

K_n = معامل (القيم النموذجية معطاة في الجدول رقم ٢,٢).

الجدول رقم (٢,٢). قيم K_n النموذجية.

الإقليم	حجم مجمع الأمطار (كم٢)	K_n*
السهول العظمى في كلورادو، كنساس، أوكلاهوما، نبرسكا، نيومكسيكو، ومنج، وشمال داكوتا.	٥,٢ – ١٠٢٨٠	٠,٠٧٠ للبحيرات ذات التدفق السطحي الكبير. ٠,٠٣٠ للبحيرات ذات شبكات الصرف جيدة التصميم.
جبال الروكي ومستنقعات كلورادو، ومنج، يوتا، أوريجون، مونتانا، أيداهو، ونيومكسيكو.	٣,٤ – ٦٥٠٠	٠,٢٦٠ للفيضانات في ١٠٠ عام. ٠,١٣٠-٠,١٦٠ للعاصفة العامة في أقصى تدفق محتمل. ٠,٠٥ – ٠,٠٧٣ لأحداث العواصف الرعدية.
الصحراء الجنوب غربية والبحيرات الكبرى وسهل كلورادو في أريزونا وكاليفورنيا وأجزاء من كلورادو	٠٦,٠ – ١٢٢٥٠	٠,٠٧٠ للبحيرات ذات غابات الصنوبر على ارتفاعات عالية. ٠,٠٤٢ للمناطق الصحراوية.
سيرا نيفادا، كاليفورنيا	٥٣,٤ – ٥٣٧٠	٠,١٥٠ للبحيرات ذات النمو الصنوبري الغني. ٠,٠٦٤ للبحيرات ذات شبكات الصرف جيدة التطوير.
ساحل وسلاسل جبال كاسكاد في كاليفورنيا وأريجون ووشنطن.	٨,٧ – ١٩٨٠	٠,١٥٠ للبحيرات ذات النمو الصنوبري الكثيف الممتد في السهل الفيضي للشاطئ. ٠,٠٨٠ للبحيرات المنخفضة ذات الغطاء النباتي الأكثر تناثرا.

obeikandl.com

تابع الجدول رقم (٢,٢).

الإقليم	حجم مجمع الأمطار (كم٢)	K_n *
البحيرات في مدن كاليفورنيا وتكساس وكنتاكي وفرجينيا وميريلاند.	٠,٥ - ٢٣٨	٠,٠٣٣ للبحيرات ذات الكثافة القليلة أو التطور الجزئي مع مباني ثانوية فقط لجمع مياه الفيضان. ٠,٠١٣ للبحيرات ذات الكثافة العالية في التطوير مع نظام جمع جيد.

* القيم ما بين الحدود العليا والدنيا الموضحة تصلح للاستخدام في البحيرات ذات الخصائص المتوسطة.

المصدر: USBR (1987).

oueikanda.com

٥- طريقة هيدروليكا المجرى المائي

يقسم مجرى الماء إلى أجزاء مختلفة على طول مسار الماء الأساسي اعتماداً على خصائص الخشونة والميل. ويتم تقدير طول مسار السريان ومتوسط سرعة السريان لكل جزء. إذن:

$$t_c = \left[L_1 / V_1 + L_2 / V_2 + L_3 / V_3 + ... + L_n / V_n\right] / 3600 \qquad (٢,١٠)$$

حيث إن:

n = عدد الأجزاء.

$L_1, L_2, L_3, ..., L_n$ = أطوال أجزاء المجرى المائي (م) ذات خصائص الخشونة والميول المختلفة.

$V_1, V_2, V_3, ..., V_n$ = سرعات السريان السطحي أو في القناة (م/ث) الخاصة بكل جزء من أجزاء المجرى المائي.

ويمكن تقدير سرعات السريان باستخدام معادلة مانتق لذروة عامين أو لتسرب الشاطئ في حالة القنوات المحددة جيداً والقيم المعطاة في الجدول رقم (٢,٣) للتدفق السطحي (USDA 1972). "النوع" في الجدول رقم (٢,٣) يشير إلى:

- نوع١: التدفق السطحي على مناطق الغابات ذات النفايات الأرضية الكثيفة ومروج الدريس.
- نوع٢: التدفق السطحي على الأرض المحروثة أو المناطق الزراعية الأقل حراثة والأراضي التي تحصد خطياً أو كنتورياً والغابات.
- نوع٣: التدفق السطحي على مراعي الحشائش القصيرة.
- نوع٤: التدفق السطحي على المناطق المزروعة على شكل صفوف مستقيمة.
- نوع٥: التدفق السطحي على المساحات الجرداء تقريباً أو الغير محروثة والمراوح الغرينية في مناطق الجبال الغربية.
- نوع٦: التدفق في المجاري المائية المزروعة بالحشائش.
- نوع٧: التدفق الرقائقي على المناطق الممهدة والأخاديد الصغيرة المرتفعة.

الجدول رقم (٢,٣). سرعات السريان السطحي التقريبية (سم/ ث).

ميل الأرض	نوع السطح						
(٪)	النوع ١	النوع ٢	النوع ٣	النوع ٤	النوع ٥	النوع ٦	النوع ٧
٠,٥	٦	١١	١٥	٢٠	٢٢	٣٤	٤٣
١,٠	٨	١٥	٢١	٢٧	٣١	٤٦	٦١
٢,٠	١١	٢١	٣١	٤٠	٤٣	٦٤	٨٨
٣,٠	١٣	٢٧	٤٠	٤٩	٥٥	٨٢	١٠٧
٤,٠	١٥	٣١	٤٣	٥٥	٦١	٩١	١٢٢
٥,٠	١٧	٣٧	٤٩	٦١	٧٠	١٠٤	١٣٧

obeikandi.com

تابع الجدول رقم (٢,٣). سرعات السريان السطحي التقريبية (سم/ ث).

ميل الأرض	نوع السطح						
(٪)	النوع ١	النوع ٢	النوع ٣	النوع ٤	النوع ٥	النوع ٦	النوع ٧
١٠,٠	٢٤	٤٩	٦٧	٨٨	٩٨	١٥٠	١٩٨
٢٠,٠	٣٥	٦٩	٩٨	١٢٢	١٣٧	٢١٠	٢٧٤
٣٠,٠	٤٣	٨٢	١١٩	١٥٢	١٧١	٢٥٦	٣٦٦
٤٠,٠	٤٩	٩٨	١٣٧	١٨٠	١٩٨	٢٩٠	٣٩٦
٥٠,٠	٥٥	١٠٧	١٥٢	١٩٨	٢١٣	٣٥٥	٤٢٧
٦٠,٠	٦١	١٢٢	١٦٨	٢١٣	٢٤٤	٣٦٦	٤٨٨

المصدر: USDA (1972, 1985).

معادلة السريان الطبقي (USDA 1986)

المعادلة العملية لتقدير زمن الانتقال للتدفق الطبقي لأقل من حوالي ٩٠ م على الأسطح المستوية أو في منابع المجاري المائية هي:

$$t_c = \left[0.0289\,(n\,L)^{0.8}\right] / \left[P_2^{\;0.5}\;S^{0.4}\right] \qquad (٢,١١)$$

حيث إن:

t_c = زمن الانتقال (ساعة).

L = طول السريان (م).

P_2 = معدل المطر في ٢٤ ساعة خلال عامين (سم).

S = ميل الأرض (م/ م).

n = معامل مانتق للخشونة.

والقيم النموذجية لمعامل مانتق للخشونة في حالة السريان الطبقي مبينة في الجدول رقم (٢,٤).

الجدول رقم (٢,٤). قيم معامل مانك n النموذجية للسريان الطبقي.

وصف الأسطح	معامل مانك n
ناعم (خرسانة، اسفلت، حصى، تربة جرداء)	٠,٠١١
أرض مراحة من الزراعة (بدون بقايا)	٠,٠٥
أرض مزروعة الغطاء المتبقي ≤ ٢٠٪	٠,٠٦
أرض مزروعة الغطاء المتبقي > ٢٠٪	٠,١٧
عشب (قصير)	٠,١٥
عشب (كثيف)	٠,٢٤
عشب (برمودا)	٠,٤١
سلاسل جبال (طبيعية)	٠,١٣
غابات (شجيرات خفيفة)	٠,٤٠
غابات (شجيرات كثيفة)	٠,٨٠

المصدر: USDA (1986).

سرعات السريان المتوسطة في حالة التدفقات الضحلة المركزة على الميول المسطحة نسبياً الأقل من ٠,٠٠٥ م/ م يمكن تقديرها عن طريق (USDA 1986):

الأسطح غير المهدة: $V = 4.9176 \sqrt{S}$ (٢,١٢)

الأسطح المهدة: $V = 6.1957 \sqrt{S}$ (٢,١٣)

حيث إن:

V = سرعة السريان (م/ ث).

S = ميل سطح الماء (م/ م).

٦- طريقة هيربي- هاثاواي (MacCuen *et al.* 1984)

$$T_c = 0.02407\ L_f^{0.47}\ n^{0.47}\ S_f^{-0.235}$$ (٢,١٤)

obeikandl.com

حيث إن:

L_f = مسافة الخط المستقيم (م) من أبعد نقطة في مجرى الماء إلى النقطة تحت الدراسة التي يتم قياسها بموازاة الميل.

S_f = متوسط ميل حوض النهر (م/ م).

n = معامل الإعاقة أو معاملماننق للخشونة.

قيم معامل الإعاقة n، النموذجية موضحة في الجدول رقم (٢,٥) (USCE 1959).

وقد تم تطوير الطرق المذكورة سابقاً لأحجام وأنواع معينة من أحواض الصرف. مع هذا، فإن تطبيقهم على أنواع أخرى من أحواض الصرف أمر شائع تماماً. ويجب اختيار قيم ملائمة من أزمنة التركيز مع مراعاة ظروف أحواض الصرف.

الجدول رقم (٢,٥). قيم معامل الإعاقة n النموذجية.

نوع السطح	معامل الإعاقة n
سطح ناعم غير منفذ للماء	٠,٠٢
تربة ناعمة قاحلة	٠,١٠
حشائش فقيرة أو محاصيل أو أسطح قاحلة متوسطة الخشونة	٠,٢٠
مراعي وحشائش	٠,٤٠
غابات نفضية	٠,٦٠
غابات صنوبرية ونفضية بها كم هائل من الأوراق المتساقطة والحشائش الكثيفة	٠,٨٠

المصدر: ASCE (1959).

مثال رقم (٢,١): احسب زمن التركيز لحوض صرف بمساحة ١٢ كم٢ موضوع في الأركان الأربعة لمنطقة في الجنوب الغربي للولايات المتحدة (ركن كلورادو ويوتا ونيومكسيكو وأريزونا). متغيرات حوض الصرف المناسبة هي:

طول حوض الصرف $L = 5.18\,km$

$S = 0.057\,m/m$

$CN = 76$

$K_n = 0.045$

$C_t = 0.4$

$L_{ca} = 2.59\ km$

وأسطح التربة تقريباً جرداء مع بعض الحبيبات الغرينية.

الحل:

استخدم طرق متعددة لحساب t_c واختار القيمة الملائمة عن طريق الحكم.

١- طريقة كربيتش - المعادلة رقم (٢,٣)

$$H = 5.18 \times 1000 \times 0.057 = 295.26\ m$$

$$t_c = \left[0.87\,(5.18)^3 / 295.26\right]^{0.385} = 0.71\ h$$

٢- طريقة خدمة المحافظة على التربة – المعادلات رقم (٢,٤ - ٢,٦)

$$S_a = (2540/76) - 25.4 = 8.021\ cm$$

$$t_L = 1.347\,(5180)^{0.8}(8.021 + 25.4)^{0.7} / \left[1900(0.057 \times 100)\right] = 1.448\ h$$

$$t_c = 1.448/0.6 = 2.41\ h$$

٣- طريقة سنيدر – المعادلة رقم (٢,٧)

$$t_L = 0.7517 \times 0.4\,(5.18 \times 2.59)^{0.3} = 0.665\ h$$

$$t_c = 0.655/0.6 = 1.09\ h$$

٤- طريقة مكتب استصلاح الأراضي بالولايات المتحدة – المعادلة رقم (٢,٩)

$$t_L = 4.6169 \times 0.045\left[(5.18 \times 2.59)/(0.057)^{0.5}\right]^{0.33} = 0.785\ h$$

$$t_c = 0.785/0.6 = 1.31\ h$$

٥- طريقة هيدروليكا المجرى المائي – المعادلة رقم (٢,١٠)

سرعة السريان السطحي تساوي ٧٤ سم/ ث (من الجدول رقم ٢,٣)

$$t_c = 5.18 \times 1000/(0.74 \times 3600) = 1.94\ h$$

تتفاوت تقديرات حساب زمن التركيز من ٠,٧١ ساعة إلى ٢,٤١ ساعة. ويتضح أن قيمة الوسيط ١,٣١ ساعة هي التقريب المعقول. وهي أيضاً قريبة لمتوسط الخمس تقديرات.

شدة المطر (شدة التساقط) Rainfall Intensity

يمكن الحصول على شدة المطر لفترات عودة مختلفة ومناظرة لمدد مختلفة (مثلاً، أزمنة التركيز) من NOAA أطلس 2 للولايات الغربية الإحدى عشر: مونتانا وكلورادو ونيو مكسيكو وأيداهو ويوتا ونيفادا وأريزونا وواشنطن وأويجون وكاليفورنيا (NOAA 1973). قامت بعض الولايات والمدن بتطوير منحنى تكرار- مدة-شدة التساقط (IDF)، ومنحنى التكرار- المدة-العمق، ومنحنى المدة-المساحة-العمق (DAD) لكل المناطق في نطاق سلطتها باستخدام بيانات التساقط المناسبة (مثلاً، النشرة 70 لولاية إلينوى (Huff and Angel 1989)). وبالنسبة لمناطق أخرى في الولايات المتحدة فإن أعماق التساقط المأخوذة من البحث التقني رقم 40 (TP-40) يمكن أن تستخدم مع عامل مضاعفة حوالي 1.20 لتعليل عدم التأكيدات وأحداث العواصف الشديدة التي وقعت أثناء العقود الثلاثة الأخيرة منذ نشر البحث (TP-40) (Hershfield 1961).

منحنى تكرار- مدة-شدة التساقط هو تخطيط لشدة التساقط على المحور- y والمدة على المحور- x مع إيضاح فترة العودة على كل منحنى مدة-شدة. أياً كان المناسب، يمكن استخدام أي من المقياس الحسابي أو المقياس اللوغاريتمي لكلا المنحنيين لعمل هذه المخططات. منحنى التكرار-المدة-العمق يشبه منحنى تكرار-مدة-شدة الترسيب IDF ما عدا أن شدة التساقط تستبدل بعمق التساقط. ومنحنى التكرار-المساحة-العمق DAD هو تخطيط لمساحة حوض الصرف بالمقياس

لوغاريتمي على المحور- y وعمق التساقط بالمقياس الحسابي على المحور- x مع إيضاح المدة على كل منحنى مساحة-عمق. وبتقرير الأكثر ملائمة يمكن تبادل أدوار المحورين x و y.

وبالنسبة للمناطق التي تكون فيها بيانات التساقط المتاحة محدودة، فإنه يمكن تقدير القيم التمهيدية لشدة التساقط أو العمق عن طريق (Ponce 1989; Rouse 1950):

$$i = a/(t+b)^m \quad \text{أو} \quad d = at/(t+b)^m \qquad (٢,١٥)$$

حيث إن:

i = شدة التساقط (مم/ الساعة).

d = عمق التساقط (مم).

t = الفترة الزمنية (ساعة).

a, b, m معاملات عملية.

وبهدف التبسيط، يوضع الأس $m = 1$. ويمكن حساب قيم المعاملات الأخرى عن طريق التعويض عن البيانات المتاحة لأعماق المطر أو الشدة وحساب متوسط القيم المحسوبة للمجموعات المختلفة من نقاط البيانات.

مثال رقم (٢,٢): قم بإعداد منحنيات تكرار-مدة-شدة التساقط IDF للاستخدام في تصميم نظام الصرف في موقع صناعي قرب جولييت، إلينوى.

الحل:

أعماق المطر للفترات المختلفة وفترات العودة الخاصة بجولييت، إلينوى التي تم الحصول عليها من نشرة Huff and Angel (1989) موضحة في الجدول رقم (٢,٦ أ). وقيم شدة التساقط المناظرة موضحة في الجدول رقم (٢,٦ ب). ومنحنيات تكرار-

مدة-شدة التساقط IDF لمدد من ٥ دقائق إلى ٢ ساعة، ممثلة بالمقياس الحسابي، موضحة في الشكل رقم (١,٢ أ)، وتلك الخاصة بمدد من ١٠ دقائق إلى ٢٤ ساعة، ممثلة بالمقياس اللوغاريتمي، موضحة في الشكل رقم (١,٢ ب).

الجدول رقم (٢,٦ أ). جدول تكرار-مدة-عمق المطر.

الفترة	عمق المطر لفترات العودة (تكرار) المختلفة (مم)					
(ساعة)	٢ عام	٥ عام	١٠ عام	٢٥ عام	٥٠ عام	١٠٠ عام
٢٤	٨١,٢٨	١٠٣,٦٣	١٢٣,١٩	١٥٣,٢٤	١٨٢,١٢	٢١٥,١٤
١٨	٧٤,٦٨	٩٥,٢٥	١١٣,٢٨	١٤١,٢٢	١٦٧,٦٤	١٩٧,٨٧
١٢	٧٠,٦١	٩٠,١٧	١٠٧,١٩	١٣٣,٣٥	١٥٨,٥٠	١٨٧,٢٠
٦	٦٠,٩٦	٧٧,٧٢	٩٢,٤٦	١١٥,٠٦	١٣٦,٦٥	١٦١,٢٩
٣	٥٢,٠٧	٦٦,٢٩	٧٨,٧٤	٩٨,٣٠	١١٦,٥٩	١٣٧,٦٧
٢	٤٨,٠١	٦١,٢١	٧٢,٦٤	٩٠,٤٢	١٠٧,٤٤	١٢٧,٠٠
١	٣٨,١٠	٤٨,٧٧	٥٧,٩١	٧٢,١٤	٨٥,٦٠	١٠١,٠٩
٠,٥٠٠ (٣٠ دقيقة)	٢٩,٩٧	٣٨,٣٥	٤٥,٤٧	٥٦,٦٤	٦٧,٣١	٧٩,٥٠
٠,٢٥٠ (١٥ دقيقة)	٢١,٨٤	٢٧,٩٤	٣٣,٢٧	٤١,٤١	٤٩,٢٨	٥٨,١٧
٠,١٦٧ (١٠ دقيقة)	١٧,٧٨	٢٢,٨٦	٢٧,١٨	٣٣,٧٨	٤٠,١٣	٤٧,٢٤
٠,٠٨٣ (٥ دقيقة)	٩,٦٥	١٢,٤٥	١٤,٧٣	١٨,٢٩	٢١,٨٤	٢٥,٩١

المصدر: Huff and Angel (1989).

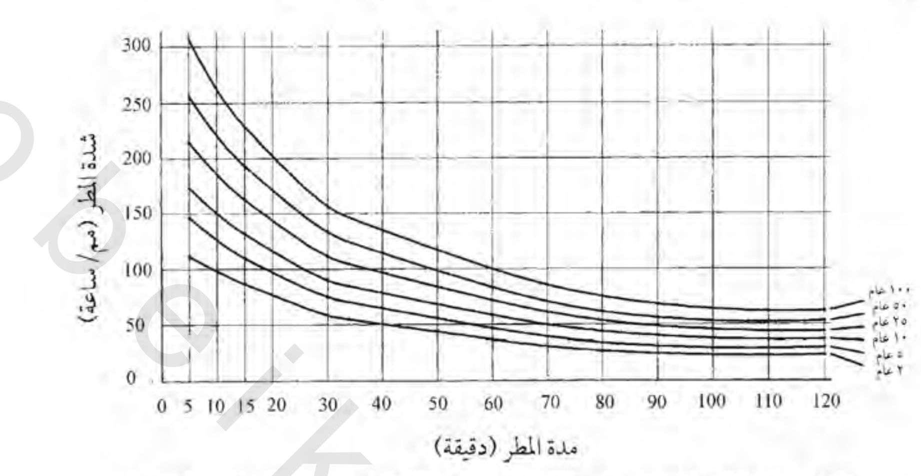
obeikandi.com

الجدول رقم (٦,٢ ب).جدول تكرار-مدة-شدة المطر.

الفترة	شدة المطر لفترات العودة المختلفة (مم/ ساعة)					
(ساعة)	٢ عام	٥ عام	١٠ عام	٢٥ عام	٥٠ عام	١٠٠ عام
٢٤	٣,٣٩	٤,٣٢	٥,١٣	٦,٣٩	٧,٥٩	٨,٩٦
١٨	٤,١٥	٥,٢٩	٦,٢٩	٧,٨٥	٩,٣١	١٠,٩٩
١٢	٥,٨٨	٧,٥١	٨,٩٣	١١,١١	١٣,٢١	١٥,٦٠
٦	١٠,١٦	١٢,٩٥	١٥,٤١	١٩,١٨	٢٢,٧٨	٢٦,٨٨
٣	١٧,٣٦	٢٢,١٠	٢٦,٢٥	٣٢,٧٧	٣٨,٨٦	٤٥,٨٩
٢	٢٤,٠٠	٣٠,٦١	٣٦,٣٢	٤٥,٢١	٥٣,٧٢	٦٣,٥٠
١	٣٨,١٠	٤٨,٧٧	٥٧,٩١	٧٢,١٤	٨٥,٦٠	١٠١,٠٩
٠,٥٠٠ (٣٠ دقيقة)	٥٩,٩٤	٧٦,٧١	٩٠,٩٣	١١٣,٢٨	١٣٤,٦٢	١٥٩,٠٠
٠,٢٥٠ (١٥ دقيقة)	٨٧,٣٨	١١١,٧٦	١٣٣,١٠	١٦٥,٦١	١٩٧,١٠	٢٣٢,٦٦
٠,١٦٧ (١٠ دقيقة)	١٠٦,٦٨	١٣٧,١٦	١٦٣,٠٦	٢٠٢,٦٩	٢٤٠,٧٩	٢٨٣,٤٦
٠,٠٨٣ (٥ دقيقة)	١١٥,٨٢	١٤٩,٥٣	١٧٦,٧٨	٢١٩,٥٦	٢٦٢,١٣	٣١٠,٩٠

المصدر: Huff and Angel (1989).

obeikandi.com



الشكل رقم (١,٢ أ). منحنيات تكرار-مدة-شدة التساقط IDF (المقياس الحسابي).

شدة المطر (مم/ساعة)

500 250 200 150 100 50 25 20 15 10 7.5 5.0 2.5

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.7 1.0 2 3 4 5 6 7 8 9 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

6 10 15 30 60 H

100-Year
50-Year
25-Year
10-Year
5-Year
2-Year

مدة المطر (دقيقة)

الشكل رقم (١,٢ ب). منحنيات تكرار- مدة - شدة التساقط IDF (المقياس اللوغاريتمي).

مثال رقم (٢,٣): بيانات خمس سنوات متاحة عن تساقط المطر لموقع منجم بعيد موضحة في الجدول رقم (٢,٧). طور جدول تقريبي لتكرار-مدة-شدة التساقط يمكن استخدامه لأغراض التخطيط واستكمله بالقياس ليمتد لفترة عودة حوالي عشر سنوات.

الجدول رقم (٢,٧). بيانات تساقط المطر لموقع المنجم.

	فترة التساقط (دقيقة)		
فترة العودة (التكرار) للمطر	١٠	٣٠	٦٠
سنتان عمق عالي التساقط (مم)	١٩,٢	٣٦,٩	٥٤,٣
خمس سنوات عمق عالي التساقط (مم)	٢٢,١	٤١,٧	٦٢,٧

الحل:

باستخدام المعادلة رقم (٢,١٥)، حيث $m = 1$ و $i = d/t$ فإن أعماق المطر المتاحة لـ سنتين، لمدة ١٠ و٣٠ و٦٠ دقيقة هي:

$$i = 19.2 \times 60/10 = 115.2 = a/(0.167 + b)$$
$$i = 36.9 \times 60/30 = 73.8 = a/(0.5 + b)$$
$$i = 54.3 = a/(1.0 + b)$$

بحل أول معادلتين متزامنتين ينتج:

$a = 68.38 \quad , \quad b = 0.4266$

وبحل المعادلة الأولى والمعادلة الثالثة ينتج:

$a = 85.56 \quad , \quad b = 0.577$

وبحل المعادلة الثانية والمعادلة الثالثة ينتج:

$a = 102.75 \quad , \quad b = 0.8923$

ومتوسطات هذه المجموعات الثلاثة من القيم هي:

$a = 85.56 \quad , \quad b = 0.6315$

opeikandi.com

إذن، يمكن تطوير جدول تقريبي لتكرار-مدة-شدة تساقط من المعادلة التالية:

$$i(2-yr)=85.56/(t+0.6315)$$

وبالمثل، المعادلات الثلاثة لأعماق خمس سنوات من نزول المطر هي:

$$i=(22.1\times 60/10)=132.6=a/(0.167+b)$$

$$i=(41.7\times 60/30)=83.4=a/(0.5+b)$$

$$i=62.7=a/(1.0+b)$$

وبحل هذه المعادلات بنفس الترتيب السابق ينتج

$a=74.85$, $b=0.3975$
$a=99.08$, $b=0.5802$
$a=126.31$, $b=1.0145$

وباستخدام متوسطات هذه القيم في المعادلة:

$$i(5-yr)=100.08/(t+0.6641)$$

وفي غياب أي بيانات أخرى، فإن شدة التساقط المتاحة لفترات عودة سنتين و خمس سنوات يمكن أن تحول إلى العمق المناظر، باستخدام العلاقة: $d=i\,t$. ويمكن تمثيل أعماق كل مدة بيانياً على أوراق جامبل Gumbel للاحتمال، ويمكن الحصول على أعماق التساقط لفترة عشر سنوات للمدد المناظرة عن طريق الاستكمال القياسي (انظر الجزء في هذا الفصل تحت عنوان "التحليل الإحصائي للبيانات المتاحة"). وبالتبادل، بفرض أن أعماق سنتين من سقوط المطر يكون مساوياً تقريباً للمتوسطات النسبية، مثلاً، لفترة ٦٠ دقيقة، بمتوسط = X = ٥٤,٣ مم. إذن، باستخدام المعادلة رقم (٢,٢٣):

$$K(5-yr)=-0.7797\{0.5772+\ln[\ln(5/4)]\}=0.71946$$

باستخدام المعادلة رقم (٢,٢١):

$$62.7=54.3+0.71946\,s$$

إذن:

$$s = 11.6754$$

وبإعادة استخدام المعادلتين رقم (٢,٢٣) ورقم (٢,٢١):

$$K(10-yr) = 1.30457$$
$$d(10-yr) = 54.3 + 1.30457 \times 11.6754 = 69.53\ mm$$
$$i(10-yr) = 69.53 \times 60/60 = 69.53\ mm/h$$

وبالمثل يمكن تقدير قيم عشر سنوات للفترات الأخرى.

لاحظ أن هذه النتائج تكون تقريبية ويمكن أن تكون مفيدة لأغراض التخطيط فقط. ويجب أن يتم تعديلها بمجرد وجود بيانات إضافية متاحة.

بالنسبة للحالات التي تكون فيها بيانات نزول المطر لسنوات قليلة (مثلاً، خمس سنوات) لمحطات المعايرة المتعددة (مثلاً، عشر محطات) داخل نفس النطاق المناخي متاحة، فإنه يمكن دمج البيانات وافتراض أنها مكافئة لـ ٥٠ سنة من البيانات للمحطة الواحدة. هذا التقريب يعرف بـ "طريقة سنة المحطة" (Chow 1964). وعندما يكون الوضع مناسباً، يمكن استخدام الطرق العشوائية لمد البيانات المتاحة. وباستخدام البيانات الممتدة، يمكن استخدام الطرق الإحصائية المذكورة في الجزء تحت عنوان "التحليل الإحصائي للبيانات المتاحة" لتقدير أعماق تساقط المطر لفترات عودة مختلفة.

مثال رقم (٢,٤): أوضحت عملية تحليل بيانات سجلات تساقط المطر من ستة محطات تقوم باستمرار بقياس تساقط المطر في منطقة تعدين بعيدة (تقريباً ٨×٨كم) أن القيم السنوية القصوى العشر سنوات موضحة في الجدول رقم (٢,٨). احسب أعماق عشرة دقائق لفترات ٢ ، ١٠ ، ٥٠ ، و ١٠٠ سنة من تساقط المطر لتصميم نظام الصرف للمبنى.

الجدول رقم (٢,٨). المعدل السنوي الأقصى لتساقط المطر لمدة عشر دقائق (مم).

السنة	المحطة الأولى		المحطة الثانية		المحطة الثالثة	
	التاريخ	التساقط	التاريخ	التساقط	التاريخ	التساقط
١٩٩٣	٢٨ نوفمبر	١٨,٠	٢٨ نوفمبر	١٩,٠	٢٩ نوفمبر	١٩,٨
١٩٩٤	١٠ ديسمبر	٢٣,٤	٢٥ يناير	١٦,٦	١٦ نوفمبر	١٨,٠
١٩٩٥	٤ يناير	١٩,٨	١٥ نوفمبر	٢٠,٦	١٥ نوفمبر	٢٤,٨
١٩٩٦	٢٤ يناير	١٦,٠	١٤ فبراير	١٧,٦	١٤ فبراير	١٩,٢
١٩٩٧	١٤ ابريل	٢٥,٥	١٤ ابريل	١٩,٤	١٢ يناير	١٧,٢
١٩٩٨	٢ نوفمبر	٢٩,٦	١٥ يناير	١٧,٠	٢٤ اكتوبر	٢٢,٨
	المحطة الرابعة		المحطة الخامسة		المحطة السادسة	
السنة	التاريخ	التساقط	التاريخ	التساقط	التاريخ	التساقط
١٩٩٣	٢٩ نوفمبر	٢١,٢	٢٨ نوفمبر	٢٢,٠	–	–
١٩٩٤	١٨ مارس	١٤,٤	١٣ فبراير	١٩,٤	٢٤ نوفمبر	١٦,٨
١٩٩٥	٢٣ نوفمبر	٢٣,٤	١٥ نوفمبر	٢١,٠	٢٧ نوفمبر	١٨,٦
١٩٩٦	١٥ نوفمبر	١٤,٢	١٢ يناير	١٨,٨	١٨ ابريل	١٨,٦
١٩٩٧	١٢ يناير	١٨,٠	١٤ ابريل	٢١,٨	١٦ نوفمبر	١٥,٠
١٩٩٨	–	–	١٧ نوفمبر	١٩,٦	١٠ مايو	١٥,٦

الحل:

محطات قياس المطر تقع داخل منطقة تعدين صغيرة نسبياً، والتي تقع داخل نفس النطاق المناخي. وبالتالي، يستخدم تقريب سنة المحطة. والقيم في محطات مختلفة تتعلق بنفس التاريخ يمكن أن تمثل واحدة ونفس العاصفة ولا يمكن بالضرورة أن تقدم نقاط بيانات إضافية مستقلة. لاحظ أن هناك ثلاث قيم لتاريخ ٢٨ نوفمبر

١٩٩٦، وقيمتـان لتـاريخ ٢٩ نـوفمبر ١٩٩٣، وثلاثـة لتـاريخ ١٥ نـوفمبر ١٩٩٥، وقيمتان لتاريخ ١٤ فبراير ١٩٩٦، وثلاثة لتاريخ ١٤ إبريـل ١٩٩٧، واثنـان لتـاريخ ١٢ يناير ١٩٩٧. ولتحديد سـجل تقريبـي كـافي لأكثـر مـن سـت سـنوات للمحطـة الواحدة داخل منطقة الموقع، تؤخذ في الاعتبار فقط أعلى قيم تمت ملاحظتهـا في كـل من هذه التواريخ. هذا يؤدى إلى ٢٥ نقطة بيانات مـستقلة موضـحة في الجـدول رقـم (٢,٩)، بتقريب أقصى قيم سنوية لتساقط المطر في الموقع من ٢٥ سنة مدة ١٠-دقائق.

وبشكل طبيعي، يجب استخدام أفضل توزيع احتمالية مناسب لتحليل التكـرار تـستخدم نقـاط هـذه البيانـات. مـع هـذا، فـإن توزيـع نـوع ١ Fisher-Tippett (أي، جامبـل Gumbel) مناسـب لبيانـات سـقوط المطـر (Hershfield 1961; NOAA 1973). وبالتالي، يستخدم هـذا التوزيـع لتقـدير أعـماق سـقوط المطـر خـلال ٢، ١٠، ٥٠، ١٠٠ سنة لمدة ١٠ دقـائق لمنطقـة الموقـع. باسـتخدام الـدوال المتاحـة في حـزم بـرامج الحاسب القياسية (مثلاً، برنامج الإكسل)، فإن المتوسط، X، والانحراف القياسي، s، للقيم الـ ٢٥ في الجـدول رقـم (٢,٩) وجـد أنهـا تـساوي ٢٩,٥٣٢ و ٣,٨٠٣، عـلى الترتيب. وباستخدام المعادلات رقم (٢,٢٤)، ورقم (٢,٢٥)، ورقم (٢,٢٦):

$$\alpha = 1.2826 / 3.803 = 0.337$$
$$u = 19.532 - 0.5772 / 0.337 = 17.819$$

و بالتالي:

$$P\,(10-\text{yr}) = 17.819 - \ln[-\ln(1-0.10)] / 0.337 = 24.50\ \text{mm}$$
$$P\,(50-\text{yr}) = 17.819 - \ln[-\ln(1-0.02)] / 0.337 = 29.40\ \text{mm}$$
$$P\,(100-\text{yr}) = 17.819 - \ln[-\ln(1-0.01)] / 0.337 = 31.47\ \text{mm}$$

يجب ملاحظة أن هذه التقديرات أولية ويمكن أن تكون مفيدة لتـصميم نظـام الصرف في الموقع باستخدام عوامل الأمان المعقولة.

obeikandi.com

الجدول رقم (٢,٩). أقصى معدل سنوي تم تسجيله لتساقط المطر لمدة عشر دقائق (مم).

التاريخ	المعدل الأقصى لسقوط المطر لمدة ١٠ دقائق
٩٣/١١/٢٨	٢٢,٠
٩٣/١١/٢٩	٢١,٢
٩٤/١/٢٥	١٦,٦
٩٤/٢/١٣	١٩,٤
٩٤/٣/١٨	١٤,٤
٩٤/١١/١٦	١٨,٠
٩٤/١١/٢٤	١٦,٨
٩٤/١٢/١٠	٢٣,٤
٩٥/١/٤	١٩,٨
٩٥/١١/١٥	٢٤,٨
٩٥/١١/٢٣	٢٣,٤
٩٥/١١/٢٧	١٨,٦
٩٦/١/١٢	١٨,٨
٩٦/١/٢٤	١٦,٠
٩٦/٢/١٤	١٩,٢
٩٦/٤/١٨	١٨,٦
٩٦/١١/١٥	١٤,٢
٩٧/١/١٢	١٨,٠
٩٧/٤/١٤	٢٥,٥
٩٧/١١/١٦	١٥,٠
٩٨/١/١٥	١٧,٠
٩٨/٥/١٠	١٥,٦
٩٨/١٠/٢٤	٢٢,٨
٩٨/١١/٢	٢٩,٦
٩٨/١١/١٧	١٩,٦

obeikandl.com

معادلات الانحسار Regression Equations

قامت هيئة المسح الجيولوجي بالولايات المتحدة بتحديد مجموعات مختلفة من معادلات الانحسار لتقدير تدفقات القمة لفترات عودة مختلفة للمواقع التي لا يتم قياسها للولايات المختلفة بالولايات المتحدة الأمريكية وبورتوريكو (USGS 1994). والأخطاء القياسية التي تم تدوينها في التقارير عالية نسبياً. مع هذا، فهي مفيدة للتحقق من معقولية تدفقات القمة المقدرة باستخدام الطرق الأخرى. هذه المعادلات مدونة في التقارير بنظام وحدات قدم-رطل-ثانية (FPS). ومن المناسب بشكل عام استخدامهم بنظام وحدات قدم- رطل-ثانية وتحويل النتائج إلى النظام العالمي (SI).

مثال رقم (٢,٥): باستخدام نموذج HEC-I، فإن تدفق القمة في ١٠٠ سنة لجدول في كنساس يقدر بحوالي ٣٦٧ م^٣^/ ث. استخدم معادلات الانحسار USGS للتحقق من معقولية تدفق القمة المقدر في ١٠٠ سنة. المعاملات المناسبة المطلوبة لاستخدام معادلات الانحسار هي: D = ٦١,٤ كم^٢^ (٢٣,٧٠ ميل^٢^)

متوسط التساقط السنوي للمنطقة = ٧١ سم (٢٨ بوصة)

الحل:

الشكل العام لمعادلات الانحسار لمناطق الصرف من ٠,١٧ إلى أقل من ٣٠ ميل^٢^ (٠,٤٤ إلى ٧٧,٧ كم^٢^) في كنساس هي (USGS 2000a):

$$Q = a\ DA^{b}\ P^{b1} \qquad (٢,١٦)$$

حيث إن:

Q = تدفق القمة لكل قدم مكعب لكل ثانية (قدم^٣^/ ث).

DA = مساحة الصرف (ميل^٢^).

P = متوسط التساقط السنوي (بوصة).

bl, b, a = معاملات الانحسار التي توجد في (USGS (2000a.

وقيم معاملات الانحسار في فترة العودة ١٠٠ سنة، على امتداد أخطاء التنبؤ المقدرة، موضحة في الجدول رقم (٢,١٠). وباستخدام المعادلة رقم (٢,١٦) مع المعاملات المعطاة في الجدول رقم (٢,١٠):

$$Q_{100} = 19.80 \times (23.70)^{0.634} \times (28)^{1.288} = 10770 \ \text{ft}^3/\text{s} = 305 \ \text{m}^3/\text{s}$$

تدفقات القمة المقدرة في ١٠٠ سنة والأخطاء القياسية للتقدير اعتماداً على معادلة الانحسار موضحة في الجدول رقم (٢,١١).

في ضوء القيم المعطاة في معادلات الانحسار USGS، يتضح أن تصرف ٣٦٧ م³/ ث يعد تقديراً محافظاً ومعقولاً.

الجدول رقم (٢,١٠). معاملات الانحسار وأخطاء التنبؤ لمعادلة الانحسار USGS في كنساس.

فترة العودة	معاملات الانحسار*			الخطأ (٪)
	a	b	b1	
١٠٠ عام		٠,٦٣٤		+ ٧١
	١٩,٨٠		١,٢٨٨	- ٤٤

* لمناطق صرف تتراوح من ٠,١٧ إلى أقل من ٣٠ ميل مربع.

المصدر: USCS (1994).

الجدول رقم (٢,١١). تدفقات القمة المحسوبة لـ ١٠٠ سنة.

الخط الفرعي لتقسيم المياه	قمة التدفق مقدرة بـ (HEC-1)*	معادلة الانحسار		
		قمة التدفق المحسوب	أخطاء التنبؤ (+)	أخطاء التنبؤ (-)
٦١,٤ كم²	٣٦٧ م³/ ث	٣٠٥ م³/ ث	٢١٧ م³/ ث	١٣٤ م³/ ث

* انظر المثال رقم (٢,٨).

obeikandl.com

التحليل الإحصائي للبيانات المتاحة Statistical Analysis of Available Data

المعاملات الأربعة الشائعة للتحليل الإحصائي للبيانات التي يجب تطبيقها هي التالية:

المتوسط: $\bar{X} = \sum X/n$ (٢,١٧)

الانحراف القياسي: $s = \left[\sum\left(X-\bar{X}\right)^2/(n-1)\right]^{0.5}$ (٢,١٨)

معامل الالتواء: $G = n\sum\left(X-\bar{X}\right)^3/\left[(n-1)(n-2)s^3\right]$ (٢,١٩)

$$k = \left[n(n+1)/\{(n-1)(n-2)(n-3)\}\right]\times \left[\sum\{(X-\bar{X})/s\}^4\right]-\left[3(n-1)^2/(n-2)(n-3)\right] \quad (٢,٢٠)$$

حيث إن:

X = قيمة المتغير.

n = عدد نقاط البيانات.

$\sum$ = المجموع من 1 إلى n.

k = معامل الالتفاف.

في حالة التوزيع الطبيعي، فإن $G = 0$ و $k = 3$. وفي حالة توزيع جامبل (القيمة القصوى لنوع١)، فإن $G = 1.1396$ و $k = 5.4$.

إذا كانت بيانات تدفق القمة السنوي الخاصة بالموقع متاحة، فإنه يمكن تقدير تدفقات القمة لفترات العودة الأعلى عن طريق التحليل الإحصائي. عملياً، فإن تدفقات القمة لفترة العودة المرغوبة يجب أن تقدر باستخدام توزيعات احتمال متعددة والقيم المختارة يجب أن يتم اختيارها عن طريق الحكم، معطية وزناً أكبر لتوزيعات بيرسون اللوغاريتمية من نوع ٣ والأكثر ملائمة. ويكون التوزيع الطبيعي أو توزيع

اللوغاريتم الطبيعي مقبولاً إذا كان معامل الالتواء صغيراً. ولتوزيع جامبل معامل التواء ثابت قيمته ١.١٣٩٦. ويكون توزيع بيرسون اللوغاريتمي من نوع ٣ قابلاً للتطبيق لأي معامل التواء معروف (USWRC 1981). والطريقة البسيطة لحساب جودة الملائمة هي التخطيط البياني لتدفقات القمة السنوية على أوراق احتمالية عديدة (مثلاً، الأوراق الطبيعية أو أوراق اللوغاريتم الطبيعي أو أوراق جامبل للاحتمالية) وتحديد أفضل توزيع مناسب عن طريق الملاحظة.

الخطوات الحسابية للتحليل الإحصائي لتدفقات القمة السنوية هي كما يلي:

• رتب قيم تدفق القمة السنوي تنازلياً على أساس المقدار. حدد مرتبة، m، لكل قيمة على أن تكون أعلى قيمة تساوي ١. حدد مراتب مختلفة (متتالية) حتى لو كانت قيمتان أو أكثر متساويتان. يمكن عمل هذا على أوراق العمل.

• احسب لوغاريتمات (بالأساس ١٠) لكل القيم.

• احسب المتوسط $\overline{X}$، والانحراف القياسي s، ومعامل الالتواء G، لكل القيم ولوغاريتماتهم. ويمكن عمل هذا باستخدام الدوال المتاحة في حزم برامج الحاسب القياسية (مثل، برنامج الإكسل).

• احسب موضع التمثيل البياني لكل قيمة باستخدام صيغة فايبول، $m/(n+1)$، حيث n هي عدد نقاط البيانات الكلية. واستخدم مواضع التمثيل هذه لإعداد منحنيات بيانية للخط المستقيم على أوراق احتمالية مختلفة. ويكون موضع التمثيل البياني هو الاحتمالية المدرجة على الإحداثي السيني من ورقة الاحتمالية.

• احسب تدفق القمة لفترة العودة المرغوبة عن طريق الملاحظة البصرية أو الاستكمال القياسي من تمثيل توزيع الاحتمالية، أو بالتبادل، عن طريق استخدام المعادلة:

$$Q_T = \overline{X} + Ks \qquad (٢,٢١)$$

حيث إن:

Q_T = تدفق القمة في فترة العودة T سنة.

K = عامل التكرار الذي تم الحصول عليه من الجـداول (USWRC 1981; Chow 1964).

وفي حالة التوزيع الطبيعي، فـإن قـيم Q_T، و $\overline{X}$، و s تتعلـق بتـدفقات القمـة السنوية الغير منقولة، و K هو الانحراف الطبيعي القيـاسي، الـذي يمكـن الحـصول عليه من الجداول الإحصائية المناظرة لـ P = 1/T، حيـث إن P تـساوي احتماليـة أن القيم الموضحة سوف تتساوى أو تتجاوز (مثلاً، P تساوي ٠,٠١ لتدفق قمـة في ١٠٠ سنة). وإذا كانت جداول عوامل التكرار لتوزيع بيرسون اللوغاريتمي المستخدمة من نوع٣، فإن قيم K الجدولية في حالة G تـساوي صـفر يمكـن أن تـستخدم للتوزيـع الطبيعي وتوزيع اللوغاريتم الطبيعي (USWRC 1981). وقيم K شائعة الاستخدام في حالة التوزيع الطبيعي وتوزيع اللوغاريتم الطبيعي معطاة في الجدول رقم (٢,١٢).

وفي حالة توزيع اللوغاريتم الطبيعي وتوزيع بيرسون اللوغاريتمى من نـوع٣، فإن قيم $\overline{X}$ و s المـستخدمة في المعادلـة رقـم (٢.٢١) يـتم حـسابها مـن لوغـاريتمات تدفقات القمة السنوية، وقيم Q_T المقدرة هي لوغاريتم قمة التدفق المرغوبة. ومعامـل التكرار لتوزيع اللوغاريتم الطبيعي هو نفـسه في حالـة التوزيـع الطبيعـي، وفي حالـة توزيع بيرسون اللوغاريتمي من نوع٣ فهي تلك المناظرة لمعامـل الالتـواء المحـسوب مسبقاً، G، للوغاريتمات تـدفقات القمـة الـسنوية. وهـذه القـيم مجدولـة في جـداول إحصائية (مثل، USWRC 1981). وبالتبـادل، فـإن قـيم K التقريبيـة في حالـة توزيـع بيرسون اللوغاريتمي من نوع٣ يمكن تقديرها عن طريق المعادلة:

$$K\ (LP\ TypeIII) = 2/G\ \left\{\left[\left(K_n - G/6\right) G/6 + 1\right]^3 - 1\right\} \qquad (٢,٢٢)$$

حيث إن K_n هي قيمة K في حالة التوزيع الطبيعي.

الجدول رقم (٢,١٢). القيم المختارة لمعامل التكرار في حالة التوزيع الطبيعي والتوزيع اللوغاريتم الطبيعي.

فترة العودة (سنة)	احتمالية التجاوز P	معامل التكرار K
٢	٠,٥٠	٠
٢,٥	٠,٤٠	٠,٢٥٣٣٥
٣,٣٣	٠,٣٠	٠,٥٢٤٤٠
٥	٠,٢٠	٠,٨٤١٦٢
١٠	٠,١٠	١,٢٨١٥٥
٢٠	٠,٠٥	١,٦٤٤٨٥
٢٥	٠,٠٤	١,٧٥٠٦٩
٤٠	٠,٠٢٥	١,٩٥٩٩٦
٥٠	٠,٠٢	٢,٠٥٣٧٥
١٠٠	٠,٠١	٢,٣٢٦٣٥
٢٠٠	٠,٠٠٥	٢,٥٧٥٨٣
٥٠٠	٠,٠٠٢	٢,٨٧٨١٦
١٠٠٠	٠,٠٠١	٣,٠٩٠٢٣
٢٠٠٠	٠,٠٠٠٥	٣,٢٩٠٥٣
١٠٠٠٠	٠,٠٠٠١	٣,٧١٩٠٢

المصدر: USWRC (1981).

obeikandl.com

وفي حالة توزيع جامبل، فإن كل من Q_T و $\overline{X}$ و s تتعلق بتدفقات القمة السنوية ويمكن تقدير K (جامبل) من المعادلة:

$$K = -0.7797\,\{0.5772 + \ln[\ln T - \ln(T-1)]\} \quad (٢,٢٣)$$

وبالتبادل، يمكن تقدير Q_T لتوزيع جامبل عن طريق المعادلات التالية:

$$\alpha = 1.2826/s \quad (٢,٢٤)$$

$$u = \overline{X} - 0.5772/\alpha \quad (٢,٢٥)$$

$$1-P = 1-1/T = \exp[-\exp\{-\alpha\,(Q_T - u)\}] \quad (٢,٢٦أ)$$

أو:

$$Q_T = u - \{\ln[-\ln(1-P)]\}/\alpha \quad (٢,٢٦ب)$$

يستخدم توزيع جامبل لتعريف الفيضان السنوي المتوسط. وبوضع $Q_T = \overline{X}$ تصبح المعادلة:

$$1-P = 1-1/T = \exp[-\exp\{-\alpha(\overline{X} - u)\}]$$

وكذلك من المعادلة رقم (٢,٢٥):

$$-\alpha\,(\overline{X} - u) = -0.5772$$

وبالتالي تصبح فترة عودة متوسط الفيضان السنوي: T = 2.33 yr

ولأجل تحليلات إحصائية أدق لتدفقات القمة السنوية، راجع المراجع القياسية على تطبيقات الطرق الإحصائية في الهيدرولوجيا (مثل، Haan 1977; Yevjevich 1972a, 1997).

مثال رقم (٢,٦): احسب تدفق القمة في ٥٠٠ سنة لنهر أوهايو بلويس فيل، كنتاكى، باستخدام بيانات تدفق القمة السنوي المعطاة في الجدول رقم (٢,١٣).

opeikandi.com

الحل:

١- التوزيع الطبيعي:

استخدام المعادلة رقم (٢,٢١) باعتبار $K = 2.87816$ من الجدول رقم (٢,١٢)، و $\overline{X} = 14329.4$، و $s = 3677.0$ من الجدول رقم (٢,١٣):

$$Q_{500} = 14329.4 + 2.87816 \times 3677.0 = 24912 \ m^3/s$$

٢- توزيع اللوغاريتم الطبيعي:

باستخدام المعادلة رقم (٢,٢١) مع $K = 2.87816$ من الجدول رقم (٢,١٢)، و $\overline{X} = 4.142405$، و $s = 0.110875$ من الجدول رقم (٢,١٣):

$$Log(Q_{500}) = 4.142405 + 2.87816 \times 0.110875 = 4.46152$$

بالتالي:

$$Q_{500} = 28941 \ m^3/s$$

٣- توزيع لوغاريتم بيرسون من نوع ٣:

باستخدام $\overline{X} = 4.142405$ و $s = 0.110875$ و $G = -0.24$ ومن الجدول رقم (٢,١٣) و $K\,(LP\ Type\ III) = 2.588996$ (عن طريق الاستكمال القياسي من الجداول لعامل التكرار الخاص بتوزيع لوغاريتم بيرسون من نوع ٣ في حالة $G = -0.24$)، والمعادلة رقم (٢,٢١)، تعطي:

$$Log(Q_{500}) = 4.142405 + 2.588996 \times 0.110875 = 4.42946$$

بالتالي، $Q_{500} = 26882 \ m^3/s$. وبالتبادل، باستخدام المعادلة رقم (٢,٢٢) لتوزيع لوغاريتم بيرسون من نوع ٣:

$$K\,(LP\ III) = 2/(-0.24)\Big[\big\{(2.87816 + 0.24/6)(-0.24/6) + 1\big\}^3 - 1\Big] = 2.59$$

والذي هو تقريباً نفس القيمة المستكملة من الجداول.

٤- توزيع جامبل:

باستخدام المعادلة رقم (٢,٢٣) لتقدير عامل التكرار الخاص بتوزيع جامبل:

$$K(\text{Gumbel}) = -0.7797[0.5772 + \ln\{\ln(500/499)\}] = 4.3947$$

بالتالي، باستخدام المعادلة رقم (٢,٢١) مع $\overline{X} = 14329.4$ و $s = 3677.0$:

$$Q_{500} = 14329.4 + 4.3947 \times 3677.0 = 30489 \ \ m^3/s$$

بالتبادل، وباستخدام المعادلات رقم (٢,٢٤) ورقم (٢,٢٥) ورقم (٢,٢٦ب) مع $P = 0.002$ في حالة $T = 500$ yr:

$$\alpha = 1.2826/3677.0 = 0.0003488$$

$$u = 14329.4 - 0.5772/0.0003488 = 12675$$

$$Q_{500} = 12675 - \ln\left[-\ln(1-0.002)\right]/0.0003488 = 30489 \ \ m^3/s$$

يختلف تدفق القمة المقدر في ٥٠٠ سنة من ٢٤٩١٢ م³/ ث إلى ٣٠٤٨٩ م³/ ث. والقيم المقدرة باستخدام توزيع لوغاريتم بيرسون من نوع ٣ تكون قريبة من هذا المدى. إذن، يتضح أن القيمة ٢٧٠٠٠ م³/ ث تعتبر قيمة معقولة.

الجدول رقم (٢,١٣). التحليل الإحصائي لتدفقات القمة السنوي لنهر أوهايو بلويسفيل، كنتاكي.

عام	Q (م³/ ث)	Q مرتبة	log Q	الدرجة	موقع التمثيل البياني
١٨٧٢	١١٠٧٠	٣١٤٢٧	٤,٤٩٧٣	١	٠,٠٠٨٥
١٨٧٣	٩٨٨١	٢٣٨٦٨	٤,٣٧٧٨	٢	٠,٠١٧١
١٨٧٤	١١٨٣٥	٢٣٣٥٨	٤,٣٦٨٤	٣	٠,٠٢٥٦
١٨٧٥	١٤٤٣٩	٢٢٢٢٥	٤,٣٤٦٨	٤	٠,٠٣٤٢
١٨٧٦	١٥٥٧٢	٢١٧٧٢	٤,٣٣٧٩	٥	٠,٠٤٢٧

openkanal.com

تابع الجدول رقم (٢,١٣).

عام	Q (م³/ث)	Q مرتبة	log Q	الدرجة	موقع التمثيل البياني
١٨٧٧	١٤٥٢٤	٢١٢٣٥	٤,٣٢٧٠	٦	٠,٠٥١٣
١٨٧٨	٦٨٥٢	٢٠١٨٧	٤,٣٠٥١	٧	٠,٠٥٩٨
١٨٧٩	١٠١٣٦	١٩٩٣٢	٤,٢٩٩٥	٨	٠,٠٦٨٤
١٨٨٠	١٤٦٣٨	١٩٤٥١	٤,٢٨٨٩	٩	٠,٠٧٦٩
١٨٨١	١١٨٣٥	١٨١٧٧	٤,٢٥٩٥	١٠	٠,٠٨٥٥
١٨٨٢	١٧٦٦٧	١٧٩٧٩	٤,٢٥٤٨	١١	٠,٠٩٤٠
١٨٨٣	٢١٢٣٥	١٧٩٧٩	٤,٢٥٤٨	١٢	٠,١٠٢٦
١٨٨٤	٢٣٣٥٨	١٧٨٦٥	٤,٢٥٢٠	١٣	٠,١١١١
١٨٨٥	١١٦٣٧	١٧٦٦٧	٤,٢٤٧٢	١٤	٠,١١٩٦
١٨٨٦	١٥٧٤٢	١٧٦١١	٤,٢٤٥٨	١٥	٠,١٢٨٢
١٨٨٧	١٥٧٤٢	١٧٤٦٩	٤,٢٤٢٣	١٦	٠,١٣٦٧
١٨٨٨	٩٥٤١	١٧٣٢٧	٤,٢٣٨٧	١٧	٠,١٤٥٣
١٨٨٩	٨٢٩٦	١٧٤٢٤	٤,٢٣٦٦	١٨	٠,١٥٣٨
١٨٩٠	١٦٨٧٤	١٧٢١٤	٤,٢٣٥٩	١٩	٠,١٦٢٤
١٨٩١	١٥٥٧٢	١٧٢١٤	٤,٢٣٥٩	٢٠	٠,١٧٠٩
١٨٩٢	١١٧٧٨	١٦٩٣١	٤,٢٢٨٧	٢١	٠,١٧٩٥
١٨٩٣	١٤٢١٣	١٦٨٧٤	٤,٢٢٧٢	٢٢	٠,١٨٨٠
١٨٩٤	٧٨٤٣	١٦٨١٨	٤,٢٢٥٨	٢٣	٠,١٩٦٦
١٨٩٥	١١٣٢٥	١٦٧٨٩	٤,٢٢٥٠	٢٤	٠,٢٠٥١
١٨٩٦	١١٩٢٠	١٦٦٧٦	٤,٢٢٢١	٢٥	٠,٢١٣٧
١٨٩٧	١٦٨١٨	١٦٦٤٨	٤,٢٢١٤	٢٦	٠,٢٢٢٢
١٨٩٨	١٧٢١٤	١٦٥٩١	٤,٢١٩٩	٢٧	٠,٢٣٠٨

obeikandl.com

تابع الجدول رقم (٢,١٣).

عام	Q (م³/ث)	Q مرتبة	log Q	الدرجة	موقع التمثيل البياني
١٨٩٩	١٥٧١٤	١٥٩٤٠	٤,٢٠٢٥	٢٨	٠,٢٣٩٣
١٩٠٠	٨٢٦٧	١٥٨٨٣	٤,٢٠٠٩	٢٩	٠,٢٤٧٩
١٩٠١	١٥٩٤٠	١٥٨٥٥	٤,٢٠٠٢	٣٠	٠,٢٥٦٤
١٩٠٢	١٢٧٩٧	١٥٧٩٨	٤,١٩٨٦	٣١	٠,٢٦٤٩
١٩٠٣	١٤١٨٥	١٥٧٧٠	٤,١٩٧٨	٣٢	٠,٢٧٣٥
١٩٠٤	١٢١٤٦	١٥٧٧٠	٤,١٩٧٨	٣٣	٠,٢٨٢٠
١٩٠٥	١١٦٣٧	١٥٧٧٠	٤,١٩٧٨	٣٤	٠,٢٩٠٦
١٩٠٦	١٣٢٧٩	١٥٧٤٢	٤,١٩٧١	٣٥	٠,٢٩٩١
١٩٠٧	٢٠١٨٧	١٥٧٤٢	٤,١٩٧١	٣٦	٠,٣٠٧٧
١٩٠٨	١٥١١٩	١٥٧١٤	٤,١٩٦٣	٣٧	٠,٣١٦٢
١٩٠٩	١٥٧٧٠	١٥٥٧٢	٤,١٩٢٣	٣٨	٠,٣٢٤٨
١٩١٠	١٤٠٧١	١٥٥٧٢	٤,١٩٢٣	٣٩	٠,٣٣٣٣
١٩١١	١٢٠٦١	١٥٥١٥	٤,١٩٠٨	٤٠	٠,٣٤١٩
١٩١٢	١٤١٨٥	١٥٢٣٢	٤,١٨٢٨	٤١	٠,٣٥٠٤
١٩١٣	٢١٧٧٢	١٥١٤٧	٤,١٨٠٣	٤٢	٠,٣٥٩٠
١٩١٤	١١٨٠٦	١٥١١٩	٤,١٧٩٥	٤٣	٠,٣٦٧٥
١٩١٥	١٤٦٠٩	١٥١١٩	٤,١٧٩٥	٤٤	٠,٣٧٦١
١٩١٦	١٥١١٩	١٥٠٦٢	٤,١٧٧٩	٤٥	٠,٣٨٤٦
١٩١٧	١٤٨٦٤	١٤٨٩٢	٤,١٧٢٩	٤٦	٠,٣٩٣٢
١٩١٨	١٣٣٠٧	١٤٨٦٤	٤,١٧٢١	٤٧	٠,٤٠١٧
١٩١٩	١٣٦٧٥	١٤٨٦٤	٤,١٧٢١	٤٨	٠,٤١٠٣
١٩٢٠	١٥٢٣٢	١٤٨٣٦	٤,١٧١٣	٤٩	٠,٤١٨٨

obeikandi.com

تابع الجدول رقم (٢,١٣).

عام	Q (م³/ث)	Q مرتبة	log Q	الدرجة	موقع التمثيل البياني
١٩٢١	١٠٢٧٨	١٤٧٥١	٤,١٦٨٨	٥٠	٠,٤٢٧٠
١٩٢٢	١٥٥١٥	١٤٦٣٨	٤,١٦٥٥	٥١	٠,٤٣٥٩
١٩٢٣	١٣٤٧٧	١٤٦٠٩	٤,١٦٤٦	٥٢	٠,٤٤٤٤
١٩٢٤	١٥٧٧٠	١٤٦٠٩	٤,١٦٤٦	٥٣	٠,٤٥٣٠
١٩٢٥	١٠١٩٣	١٤٦٠٩	٤,١٦٤٦	٥٤	٠,٤٦١٥
١٩٢٦	١١٩٧٦	١٤٥٨١	٤,١٦٣٨	٥٥	٠,٤٧٠١
١٩٢٧	١٦٦٧٦	١٤٥٨١	٤,١٦٣٨	٥٦	٠,٤٧٨٦
١٩٢٨	١٢٢٣١	١٤٥٢٤	٤,١٦٢١	٥٧	٠,٤٨٧٢
١٩٢٩	١٤٥٨١	١٤٤٣٩	٤,١٥٩٥	٥٨	٠,٤٩٥٧
١٩٣٠	١٠٨١٥	١٤٤٣٩	٤,١٥٩٥	٥٩	٠,٥٠٤٣
١٩٣١	١٠٦١٧	١٤٤٣٩	٤,١٥٩٥	٦٠	٠,٥١٢٨
١٩٣٢	١٥١٤٧	١٤٣٢٦	٤,١٥٦١	٦١	٠,٥٢١٤
١٩٣٣	١٩٩٣٢	١٤٢١٣	٤,١٥٢٧	٦٢	٠,٥٢٩٩
١٩٣٤	١١٦٠٨	١٤١٨٥	٤,١٥١٨	٦٣	٠,٥٣٨٥
١٩٣٥	١٥٧٩٨	١٤١٨٥	٤,١٥١٨	٦٤	٠,٥٤٧٠
١٩٣٦	١٧٦١١	١٤٠٧١	٤,١٤٨٣	٦٥	٠,٥٥٥٦
١٩٣٧	٣١٤٢٧	١٣٩٥٨	٤,١٤٤٨	٦٦	٠,٥٦٤١
١٩٣٨	٩٧٩٦	١٣٩٥٨	٤,١٤٤٨	٦٧	٠,٥٧٣٠
١٩٣٩	١٧٩٧٩	١٣٩٣٠	٤,١٤٣٩	٦٨	٠,٥٨١٢
١٩٤٠	١٦٩٣١	١٣٦٧٥	٤,١٣٥٩	٦٩	٠,٥٨٩٧
١٩٤١	٧٧٥٨	١٣٥٠٥	٤,١٣٠٥	٧٠	٠,٥٩٨٣
١٩٤٢	١١٣٨٢	١٣٤٧٧	٤,١٢٩٦	٧١	٠,٦٠٦٨

obeikandi.com

تابع الجدول رقم (٢,١٣).

عام	Q (م³/ ث)	Q مرتبة	log Q	الدرجة	موقع التمثيل البياني
١٩٤٣	١٧٤٦٩	١٣٣٠٧	٤,١٢٤١	٧٢	٠,٦١٥٤
١٩٤٤	١٣١٠٩	١٣٢٧٩	٤,١٢٣١	٧٣	٠,٦٢٤٠
١٩٤٥	٢٣٨٦٨	١٣١٩٤	٤,١٢٠٤	٧٤	٠,٦٣٢٥
١٩٤٦	١٣٥٠٥	١٣١٦٥	٤,١١٩٤	٧٥	٠,٦٤١٠
١٩٤٧	٩٩٦٦	١٣١٠٩	٤,١١٧٦	٧٦	٠,٦٤٩٦
١٩٤٨	١٩٤٥١	١٣٠٨٠	٤,١١٦٦	٧٧	٠,٦٥٨١
١٩٤٩	١٤٤٣٩	١٢٩١١	٤,١١٠٩	٧٨	٠,٦٦٦٧
١٩٥٠	١٧٢٤٢	١٢٧٩٧	٤,١٠٧١	٧٩	٠,٦٧٥٢
١٩٥١	١٤٨٩٢	١٢٢٣١	٤,٠٨٧٥	٨٠	٠,٦٨٣٨
١٩٥٢	١٥٨٥٥	١٢١٤٦	٤,٠٨٤٤	٨١	٠,٦٩٢٣
١٩٥٣	٨٨٩٠	١٢١١٨	٤,٠٨٣٤	٨٢	٠,٧٠٠٨
١٩٥٤	٦٧١٠	١٢٠٦١	٤,٠٨١٤	٨٣	٠,٧٠٩٤
١٩٥٥	١٧٢١٤	١٢٠٣٣	٤,٠٨٠٤	٨٤	٠,٧١٧٩
١٩٥٦	١٣٨٣٦	١١٩٧٧	٤,٠٧٨٣	٨٥	٠,٧٢٦٥
١٩٥٧	١٣٩٥٨	١١٩٢٠	٤,٠٧٦٣	٨٦	٠,٧٣٥٠
١٩٥٨	١٥٧٧٠	١١٨٩١	٤,٠٧٥٢	٨٧	٠,٧٤٣٦
١٩٥٩	١٤٥٨١	١١٨٣٥	٤,٠٧٣٢	٨٨	٠,٧٥٢١
١٩٦٠	١٠٢٤٩	١١٨٣٥	٤,٠٧٣٢	٨٩	٠,٧٦٠٧
١٩٦١	١٦٧٨٩	١١٨٠٦	٤,٠٧٢١	٩٠	٠,٧٦٩٢
١٩٦٢	١٧٨٦٥	١١٧٧٨	٤,٠٧١١	٩١	٠,٧٧٧٨
١٩٦٣	١٦٦٤٨	١١٦٣٧	٤,٠٦٥٨	٩٢	٠,٧٨٦٣
١٩٦٤	٢٢٢٢٥	١١٦٣٧	٤,٠٦٥٨	٩٣	٠,٧٩٤٩

obeikandi.com

تابع الجدول رقم (٢,١٣).

عام	Q (م³/ث)	Q مرتبة	log Q	الدرجة	موقع التمثيل البياني
١٩٦٥	١٣١٩٤	١١٦٠٨	٤,٠٦٤٨	٩٤	٠,٨٠٣٤
١٩٦٦	١٤٦٠٩	١١٣٨٢	٤,٠٥٦٢	٩٥	٠,٨١٢٠
١٩٦٧	١٨١٧٧	١١٣٢٥	٤,٠٥٤٠	٩٦	٠,٨٢٠٥
١٩٦٨	١٦٥٩١	١١٠٧٠	٤,٠٤٤٢	٩٧	٠,٨٢٩١
١٩٦٩	٩٩٦٦	١١٠١٤	٤,٠٤١٩	٩٨	٠,٨٣٧٦
١٩٧٠	١٤٣٢٦	١٠٨١٥	٤,٠٣٤٠	٩٩	٠,٨٤٦١
١٩٧١	١٣١٦٥	١٠٦١٧	٤,٠٢٦٠	١٠٠	٠,٨٥٤٧
١٩٧٢	١٤٧٥١	١٠٢٧٨	٤,٠١١٩	١٠١	٠,٨٦٣٢
١٩٧٣	١٥٠٦٢	١٠٢٤٩	٤,٠١٠٧	١٠٢	٠,٨٧١٨
١٩٧٤	١٥٨٨٣	١٠١٩٣	٤,٠٠٨٣	١٠٣	٠,٨٨٠٣
١٩٧٥	١٤٦٠٩	١٠١٣٦	٤,٠٠٥٩	١٠٤	٠,٨٨٨٩
١٩٧٦	١٣٩٣٠	٩٩٦٦	٣,٩٩٨٥	١٠٥	٠,٨٩٧٤
١٩٧٧	١٤٤٣٩	٩٩٦٦	٣,٩٩٨٥	١٠٦	٠,٩٠٦٠
١٩٧٨	١٧٣٢٧	٩٨٨١	٣,٩٩٤٨	١٠٧	٠,٩١٤٥
١٩٧٩	١٧٩٧٩	٩٧٩٦	٣,٩٩١١	١٠٨	٠,٩٢٣١
١٩٨٠	١١٠١٤	٩٥٤١	٣,٩٧٩٦	١٠٩	٠,٩٣١٦
١٩٨١	١١٨٩١	٨٨٩٠	٣,٩٤٨٩	١١٠	٠,٩٤٠٢
١٩٨٢	١٣٠٨٠	٨٢٩٦	٣,٩١٨٨	١١١	٠,٩٤٨٧
١٩٨٣	١٤٨٦٤	٨٢٦٧	٣,٩١٧٤	١١٢	٠,٩٥٧٣
١٩٨٤	١٢٩١١	٧٨٤٣	٣,٨٩٤٥	١١٣	٠,٩٦٥٨
١٩٨٥	١٢٠٣٣	٧٧٥٨	٣,٨٨٩٧	١١٤	٠,٩٧٤٤
١٩٨٦	١٣٩٥٨	٦٨٥٢	٣,٨٣٥٨	١١٥	٠,٩٨٢٩

obeikandl.com

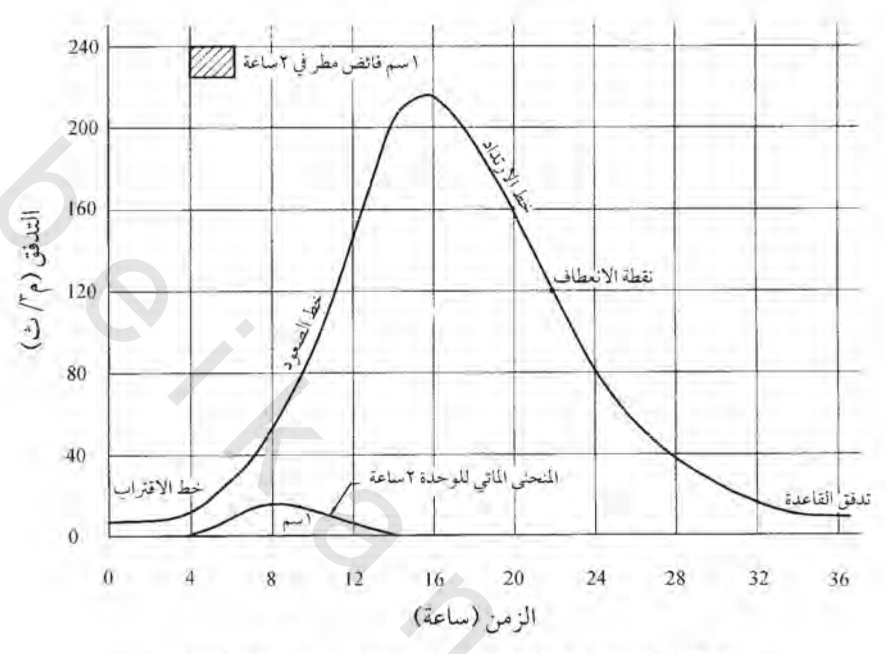
تابع الجدول رقم (٢,١٣).

عام	Q (م³/ث)	Q مرتبة	log Q	الدرجة	موقع التمثيل البياني
١٩٨٧	١٢١١٨	٦٧١٠	٣,٨٢٧٣	١١٦	٠,٩٩١٤
المجموع	١٦٦٢٢١٠	١٦٦٢٢١٠	٤٨٠,٥١٩		
المتوسط($\overline{X}$)	١٤٣٢٩,٤	١٤٣٢٩,٤	٤,١٤٢٤٠٥		
الانحراف القياسي (s)	٣٦٧٧,٠	٣٦٧٧,٠	٠,١١٠٨٧٥		
الالتواء (G)	١,٠١٠٨٨٨	١,٠١٠٨٨٨	٠,٢٤٠٢٦ -		

المنحنيات المائية للجريان السطحي
Surface Runoff Hydrographs

يتضمن هذا تحديد المنحنى المائي للجريان السطحي لمجرى الماء عند النقطة موضع الاهتمام. المنحنى المائي هو تمثيل بياني (أو تمثيل جدولي) للتدفقات مقابل الزمن. المنحنيات المائية للجريان السطحي الناتجة من أحداث التدفقات المفاجئة (العواصف) للفترات المحددة موضحة هنا. قمة المنحنى المائي للجريان السطحي للتدفق المفاجئ (للعاصفة) في T – yr يفترض أن يمثل قمة تدفق T – yr ، رغم أن هذا يمكن ألا يطابق دائماً تدفق قمة T – yr المقدر إحصائيا. طرق تحديد المنحنى المائي لأقصى فيضان محتمل (PMF) موضحة في جزء من هذا الفصل بعنوان "المنحنى المائي لأقصى فيضان محتمل". يتكون المنحنى المائي للجريان السطحي من طرف الاقتراب المرتفع ببطء، والطرف المرتفع سريعاً نسبياً، والطرف المنحسر الذي يتصل بالمنحنى المائي لتدفق القاعدة (الشكل رقم ٢,٢).

obeikandl.com



الشكل رقم (٢,٢). المنحنى المائي النموذجي للجريان السطحي.

عادةً، يتم تحديد المنحنى المائي للجريان السطحي باستخدام نماذج الحاسب الآلي، مثل (HEC-HMS USACE 2002) و (HEC-1 USACE 1991a) و (TR-20 USDA 1983a) و (SEDIMOT-II Wilson et al. 1984). والطريقة الأكثر شيوعاً في الاستخدام لتحديد المنحنى المائي للجريان السطحي هي لف وحدة الإحداثيات الرأسية (الصادية) للمنحنى المائي مع زيادات سقوط المطر الزائدة لوحدة المدة المرتبة في تتابع مناسب. اللف هو عملية مضاعفة وتجميع. والزيادة في سقوط المطر هي التساقط ناقص الفواقد. البيانات اللازمة لعمل المنحنى المائي للجريان السطحي هي كالتالي:

• معاملات حوض الصرف بما فيها منطقة الصرف وزمن التركيز أو زمن الإعاقة لحساب منحنى الوحدة المائي لحوض النهر.

• مدة وزمن توزيع التساقط وانسياب الجليد الذائب.

• فواقد التربة.

• المنحنى المائي لتدفق القاعدة.

ينقسم حوض الصرف الكلي إلى أحواض صرف فرعية، يمثل كل منها مساحة صرف خط فرعي مهم للمجرى المائي الأساسي. ويعتمد تحديد أحواض صرف الخطوط الفرعية المهمة على الحكم. كلما كان عدد أحواض الصرف أكبر، كلما كانت شبكة العمل الهيدرولوجية أكثر تعقيداً. يجب تحديد المنحنى المائي للجريان السطحي لكل حوض صرف فرعي، محفور على امتداد القنوات مشتركة الاتصال، ويدمج مع المنحنيات المائية للجريان السطحي لأحواض الصرف الفرعية الأخرى التي توجد في مواقع مناسبة. ويجب إعداد المنحنى البياني الخطى لشبكة العمل ليوضح موقع كل حوض صرف فرعي ومسار تدفق الجريان السطحي من كل أحواض الصرف الفرعية إلى النقطة حيث يتم تحديد المنحنى المائي المركب للجريان السطحي لحوض الصرف بأكمله. في بعض الأحيان، فإن تقسيم حوض الصرف إلى أعداد مختلفة من أحواض الصرف الفرعية يمكن أن يؤدى إلى تدفقات قمة مختلفة يمكن ملاحظتها عند منفذ حوض الصرف. إذا تم اختيار كل معاملات المنحنيات المائية بشكل منسجم ويتم استخدام معاملات المنحنى المائي الموزونة لإيضاح مساهمة الخطوط الفرعية الثانوية في كل حوض صرف فرعي، فإن الاختلاف في عدد أحواض الصرف الفرعية التي ينقسم إليها حوض الصرف يمكن ألا تؤدى إلى اختلافات ذات أهمية (أي، أكبر من حوالي ١٠٪) في تدفقات القمة المقدرة لحوض الصرف بأكمله (Prakash 1987).

طرق تقدير زمن التركيز أو زمن الإعاقة موضحة في جزء من هذا الفصل بعنوان "الطريقة المنطقية".

المنحنى المائي الوحدوي Unit Hdrograph

المنحنى المائي الوحدوي هو المنحنى المائي للجريان المباشر من حوض الصرف الناتج من عمق وحدة تساقط المطر الفعالة (أي، التساقط ناقص الفواقد)، الموزع بشكل منتظم على مساحة حوض الصرف والذي يحدث أثناء فترة محددة من الزمن تعرف بمدة الوحدة. يجب أن تكون وحدة المدة صغيرة بما فيه الكفاية حتى يمكن افتراض أن معدل الترسيب أثناء هذه الفترة ثابتاً. وبشكل عام، فإن القيمة الأصغر من ٠,٢٩ مرة في زمن الإعاقة تعد معقولة (USACE 1991a). والطريقتان المستخدمتان لتحديد منحنى مائي وحدوي هما المباشرة وغير المباشرة (الطرق الصناعية). في الطريقة المباشرة، فإن مساحة حوض الصرف الفرعي، والمنحنى المائي للانصباب الملاحظ عند منفذ حوض الصرف الفرعي، ومتغيرات تدفق القاعدة المقدرة أو المنحنى المائي لتدفق القاعدة، والتساقط المتعلق بالمنحنى المائي للانصباب الملاحظ، ومتغيرات الفقد في التساقط، وزمن الإعاقة تستخدم كمدخل لاستنتاج المنحنى المائي الوحدوي. وحتى تكون هذه الطريقة قابلة للتطبيق، فإن المنحنى المائي للمنفذ الملاحظ يجب أن يكون الناتج عن تدفق مفاجئ معزول ذو شدة منتظمة خلال فترته وتوزيعاً منتظماً على حوض الصرف الفرعي بأكمله. وفي نموذج HEC-1، تدمج هذه الطريقة في شكل "منهجية الكمال" (USACE 1991a). (راجع المراجع الأخرى لزيادة التفاصيل، مثل ASCE 1996) ويكون الترسيب غالباً مطلوباً لتحديد واستخدام المنحنيات المائية الوحدوية الصناعية (المركبة) التي يتم حسابها باستخدام الطرق غير المباشرة. وبعض الطرق البسيطة نسبياً لتحديد المنحنيات المائية الوحدوية هي التالية:

المنحنى المائي الوحدوي اللابعدي (USDA 1972, 1985; USBR 1987)

Dimensionless Unit Hrdrograph

قامت العديد من الوكالات (مثل، USDA و USBR) بتحديد المنحنيات المائية العامة عديمة البعد والوحدة (أي، المنحنيات البيانية أو الجداول للتصرف عديم البعد مقابل الزمن عديم البعد) القابل للتطبيق على أحواض الصرف ذات الأحجام المختلفة في المناطق المختلفة. وقد أدمج نموذج HCE-1 قيم المنحنى المائي اللابعدي SCS (أي، t/t_p مقابل q/q_p) مع شفرته، حيث t تساوي الزمن بالساعة الذي يكون خلاله الإحداثي الصادي للمنحنى المائي الوحدوي (UHO) هو q (م٣/ ث)، و t_p يساوي الزمن من البداية إلى القمة للمنحنى المائي الوحدوي بالساعة، و q_p قمة الإحداثي الصادي للمنحنى المائي الوحدوي (م٣/ ث). إذا كانت مساحة حوض الصرف الفرعي A (كم٢)، ومدة الوحدة t_r (ساعة)، وزمن الإعاقة t_L (ساعة)، معلومة فإن:

$$t_p = t_T/2 + t_L \quad (٢,٢٧)$$

$$q_p = 2.08\ A/t_p \quad (٢,٢٨)$$

كما ذكر سابقاً، $t_T = 0.29\, t_L$. ولأي زمن t ، فإن النسبة t/t_p يتم حسابها من المعادلة رقم (٢.٢٧) ويتم الحصول على قيمة q/q_p المناظرة من الجداول التي يحسب منها q (الإحداثي الصادي للمنحنى المائي الوحدوي UHO عند زمن t). من وجهة نظر عملية، فإن هذه واحدة من أكثر الطرق ملائمة لأنها تتطلب فقط متغير واحد t_L ، ليتم تقديره، بالإضافة إلى مساحة حوض الصرف الفرعي.

المنحنى المائي الوحدوي لكلارك (ASCE 1996; USACE 1991a,2002)

Clark's Unit Hydrograph

لاستخدام هذه الطريقة، تقسم مساحة حوض الصرف إلى مناطق متعددة عن طريق المتساويات الزمنية، وهي المحليات الهندسية للنقاط المتساوية في أزمنة الانتقال

حتى منفذ حوض الصرف الفرعي. والمساحة بين كل متساوية زمنية ومنفذ حوض الصرف يتم إجراء المسح عليها يعبر عنها كمنحنى زمن مساحة لابعدي أو جدول بين $A^* = A(i)/A$ و $t^* = t(i)/t_c$، حيث $A(i)$ = المساحة و $t(i)$ = زمن الانتقال من المتساوية الزمنية i إلى منفذ حوض الصرف. إذا لم يكن منحنى الزمن المساحة لموقع معين متاحاً، فإنه يمكن استخدام معادلات نماذج HEC-1 و HEC-HMS:

$$A^* = 1.414(t^*)^{1.5} \qquad 0 \le t^* < 0.5 \qquad (٢,٢٩أ)$$

$$1 - A^* = 1.414(1 - t^*)^{1.5} \qquad 0.5 \le t^* < 1.0 \qquad (٢,٢٩ب)$$

برغم عدم الضرورة المطلقة، فإن خطوة الزمن في الحسابات تؤخذ عادة على أنها نفس مدة الوحدة المختارة Δt. ويمكن حساب الإحداثيات الصادية للمنحنى المائي الوحدوي لكلارك عن طريق التالي:

$$B(t) = A\left[A^*(t) - A^*(t - \Delta t)\right] \qquad (٢,٣٠)$$

$$q(t) = 2C_0 B(t) + C_1 q(t + \Delta t) \qquad (٢,٣١)$$

$$U(t) = 0.5\left[q(t - \Delta t) + q(t)\right] \qquad (٢,٣٢)$$

$$C_0 = \Delta t / (2K + \Delta t) \qquad (٢,٣٣)$$

$$C_1 = 1 - 2C_0 \qquad (٢,٣٤)$$

حيث إن K هي معامل التخزين بوحدات الزمن. وتكون هذه الطريقة مفيدة فقط عندما يكون موقع محدد أو قيمة إقليمية متاحة أو يمكن تقديرها. ويمكن إيجاد طرق لتقدير K في مراجع أخرى (مثل، USACE 1960; Ponce 1989; Bras 1990).

المنحنى المائي الوحدوي لسنايدر Snyder's Unit Hydrograph

لا تنتج هذه الطريقة المنحنى المائي الوحدوي الكامل. وهي تقدم اتساع القاعدة بالساعة، وقمة التدفق (م٣/ ث)، والاتساعات عند ٥٠٪ و ٧٥٪ من قمة

التدفق بالساعة وتكون مفيدة فقط عندما تكون القيم المعايرة لمعاملات سنايدر C_p و t_L للمنطقة أو حوض الصرف متاحة. ويتم تقدير المعامل t_L ن المعادلة رقم (٢.٧) و C_p هو ثابت في المعادلة:

$$q_p = 2.78\, C_p\, A / t_L \qquad (٢,٣٥)$$

والقيم النموذجية لـ C_p هي ٠,٩٤ لأحواض الصرف الشبيهة بالتي توجد في جنوب كاليفورنيا، و ٠,٦٣ للشبيهة لمرتفعات أبلاشيان الجبلية، و ٠,٣١ للشبيهة بالأجزاء من الولايات التي تحد الساحل الشرقي للمكسيك. تفاصيل الطريقة موجودة في مراجع أخرى، مثل(SCE 1996; Chow 1964) بمعرفة C_p و t_L يمكن استخدام نموذج HEC-1 لتحديد المنحنى المائي الوحدوي لسنايدر. ويستخدم هذا النموذج طريقة المحاولة والخطأ للحصول على معاملات كلارك المناظرة وبالتالي ينتج المنحنى المائي الوحدوي. ويتم افتراض قيمة أولية لمعامل كلارك، K، ويتم تقدير زمن التركيز من العلاقة، $t_L / 0.6 = t_c$، ويتم حساب الإحداثي الصادي للمنحنى المائي الوحدوي من مدة الوحدة المرغوبة، Δt. وبالتالي يتم حساب قيم المحاولة لمعاملات سنايدر من:

$$C'_p = q'_p \left(t'_p - 0.5\Delta t\right) / (2.78A) \qquad (٢,٣٦)$$

$$t'_L = 1.048 \left(t'_p - 0.75\Delta t\right) \qquad (٢,٣٧)$$

حيث إن:

t'_p = الزمن عندما تقع q'_p على الإحداثيات الصادية للرسم المائي الوحدوي لكلارك.

q'_p = أقصى إحداثي صادي للرسم المائي الوحدوي.

القيم المفترضة مبدئياً لكل من t_c و K تضبط للتعويض عن الفروق بين قيم C'_p و t'_L المحسوبة والقيم المعطاة لكل من C_p و t_L. ويعاد حساب مجموعة

جديدة من C'_p و t'_L حتى تصبح هذه القيم قريبة الاتفاق مع القيم المعطاة مع درجة اختلاف مقبولة (مثلاً ١٪). ثم تستخدم المجموعة النهائية لتصوير الإحداثي الصادي للمنحنيات المائية الوحدوية لكلارك.

طريقة الموجة الكينياتيكية Kinematic Ware Method

هذه الطريقة تدمج في نماذج HEC-1 و HEC-HMS (USACE 1991a, 2002) وتكون مفيدة عند تحديد المنحنيات المائية للجريان السطحي لأحواض الصرف الفرعية التي تكوّن التدفقات الجانبية إلى المجاري المائية. وهي مفيدة أيضاً عند تحديد المنحنيات المائية للجريان السطحي للتدفقات عبر الحدود الخطية لأحواض الصرف الفرعية. ويمكن تقسيم مساحة حوض النهر التي تساهم في التدفق الجانبي إلى المجرى المائي إلى وحدات فرعية منفصلة اعتماداً على ميل الأرض أو أنواع أغطية السطح أو اتجاه السريان. على سبيل المثال، ويمكن حساب الجريان السطحي إلى المجرى المائي من الجانب الأيمن والأيسر من الشاطئ باستخدام وحدتين فرعيتين مختلفتين لنفس حوض النهر. ويجب القيام بحسابات الجريان السطحي بشكل منفصل لكل وحدة فرعية. ويفترض أن يتدفق سقوط المطر الزائد جانبياً إلى المجرى المائي خلال قناة مستطيلة عريضة. ويتم استخدام كل من طول مسار التدفق L، وميل الأرض S، ومعامل مانتق للخشونة n، والنسبة المئوية لمساحة حوض النهر الذي تمثله هذه الوحدة الفرعية، كمعاملات معطاة. ويختلف معامل مانتق للخشونة للجريان السطحي بشكل نموذجي من 0.5 للكساء الأخضر الكثيف إلى 0.10 للأعماق شديدة الضحالة على الأسطح المرصوفة بالخرسانة أو الإسفلت. ويستخدم معامل الخشونة وميل الأرض لحساب معاملات الموجة الكينياتيكية α و m. وفي حالة القناة العريضة حيث يكون المحيط المبتل (الملامس للسائل المتدفق) مساوياً

تقريباً لعرض القناة، فإن تقريب الموجة الكينيماتيكية للتصرف Q، هو:

$$Q = \alpha A^{m} \qquad (٢,٣٨)$$

حيث إن:

$$\alpha = (1/n)S^{1/3}$$
$$m = 5/3$$

يعرف q بأنه معدل سقوط المطر الزائد لكل وحدة عرض من مسار التدفق إلى القناة. معادلة التسلسل الناتجة مع تقريب الموجة الكينيماتيكية هي:

$$\partial A/\partial t + \alpha\, m\, A^{m-1}\, \partial A/\partial x = q \qquad (٢,٣٩)$$

يتم حل الشكل المنفصل من المعادلة رقم (٢,٣٩) رقمياً لتحديد المنحنى المائي للجريان السطحي للتدفق البري لكل وحدة عرض من الوحدة الفرعية. ويقدر متوسط عرض الوحدة الفرعية عن طريق قسمة مساحته على متوسط الطول L. ويتم ضرب الإحداثيات الرأسية للمنحنيات المائية للجريان السطحي في هذا العرض للحصول على المنحنى المائي للجريان السطحي للوحدة الفرعية كاملاً. المنحنيات المائية للجريان السطحي من هذه الوحدات الفرعية تدمج مع المنحنى المائي الذي يدخل بداية المجرى المائي أو مناشئ المياه الفرعي عند حافة منبع التدفق لكل وحدة فرعية. وتفاصيل أكثر عن هذه الطريقة تجدها في مراجع أخرى (مثل، USACE 1991a,2002).

عمق ومدة المطر التصميمي Design Storm Duration and Depth

يتم حساب مدة المطر (التساقط) التصميمي لمناشئ المياه باستخدام زمن الحركة المقدر للجريان السطحي من الحافة العلوية لمناشئ المياه إلى النقطة موضع الاهتمام خلال مسارات الجريان السطحي، والقنوات، والخزانات. وأوضحت دراسة لبيانات أقصى تدفق سنوي لأحد المجاري المائية في ولاية ميريلاند أن مدة تدفق مفاجئ (عاصفة) ٢٤ ساعة يمكن أن يكون ملائماً لمساحة صرف من ٥ - ١٣٠ كم٢

(Levy MacCuen 1999). ويمكن استخدام مدد تدفق مفاجئ (عاصفة) أصغر لأحواض صرف أصغر بأزمنة تحرك أصغر للجريان السطحي، ومدة من ٢٤-٩٦ ساعة يمكن أن تكون ضرورية لأحواض صرف أكبر. ويمكن الحصول على أعماق التساقط لفترات العودة المرغوبة والمدد من NOAA Atlas2 للإحدى عشر ولاية غربية (NOAA 1973)، ومن TP-40 للولايات المجاورة الأخرى (Hershfield 1961)، والبحث العلمي رقم ٤٧ لألاسكا (Miller 1963)، والبحث العلمي رقم ٤٣ لهاواي (USDOC 1962)، والبحث العلمي رقم ٤٢ لبورتوريكو وجزر فيرجين (USDOC 1961). وطرق تقدير متوسط أعماق التساقط المساحي من تقديرات النقطة محتواة أيضاً في هذه البحوث.

وللف مع الإحداثيات الرأسية للمنحنى المائي للوحدة، فإنه يجب تقسيم أعماق التساقط إلى فترات زمنية تساوي وحدة المدة ومتتالية لتقريب المدة الزمنية للتساقط في حالة التدفق المفاجئ موضع الاهتمام. وقد تم اقتراح طرق متعددة للتوزيع الزمني ولتتالي التساقط الزائد. وإذا كانت المنحنيات المائية لحدث سقوط المطر في الموقع المجاور متاحة، فإن التوزيع وتتالي التساقط الزائد لتدفق التصميم يجب أن يتم اختياره قريباً للتدفقات الملحوظة بقدر الإمكان. وبعض الطرق شائعة الاستخدام موضحة في الجزء التالي:

طريقة SCS Method

عبرت طريقة SCS عن التوزيع الزمني وتتالي ٢٤ ساعة سقوط مطر عن طريق أربعة منحنيات تطبق على مناطق مختلفة من الولايات المتحدة. والتوزيعات التقريبية لأعماق التساقط المناسبة لاستخدام الحاسب مبينة في الجدول رقم (٢.١٤) (USDA 1986; Ponce 1989).

توزيع النوع ١ يطبق على هاواي، والجانب الساحلي من سيرا نيفادا في جنوب كاليفورنيا، والمناطق الداخلية من ألاسكا. النوع ١أ يمثل المناطق على الجانب الساحلي من سيرا نيفادا وجبال كاسكاد في أوريجون وواشنطن وشمال كاليفورنيا والمناطق الساحلية في ألاسكا. ويمثل النوع ٣ خليج المكسيك والمناطق الساحلية الأطلنطية حيث تجلب العواصف الاستوائية كميات كبيرة من سقوط المطر في ٢٤ ساعة. ويطبق النوع ٢ على بقية الولايات المتحدة وبورتوريكو وجزر فيرجين. إن توزيعات النوع ٢ والنوع ٣ شبيهة جدا لبعضها البعض.

الجدول رقم (٢,١٤). التوزيع الزمني وتتالي عواصف التصميم.

المدة (ساعة)	النوع ١	النوع ١ أ	النوع ٢	النوع ٣
٠	٠,٠٠٠٠٠	٠,٠٠٠٠٠	٠,٠٠٠٠٠	٠,٠٠٠٠٠
٠,٥	٠,٠٠٨٧١	٠,٠١٠٠٠	٠,٠٠٥١٣	٠,٠٠٥٠٠
١,٠	٠,٠١٧٤٥	٠,٠٢٠٠٠	٠,٠١٠٥٠	٠,٠١٠٠٠
١,٥	٠,٠٢٦٢١	٠,٠٣٥٠٠	٠,٠١٦١٣	٠,٠١٥٠٠
٢,٠	٠,٠٣٥٠٠	٠,٠٥٠٠٠	٠,٠٢٢٠٠	٠,٠٢٠٠٠
٢,٥	٠,٠٤٤١٦	٠,٠٦٦٠٠	٠,٠٢٨١٣	٠,٠٢٥١٩
٣,٠	٠,٠٥٤٠٥	٠,٠٨٢٠٠	٠,٠٣٤٥٠	٠,٠٣٠٧٥
٣,٥	٠,٠٦٤٦٦	٠,٠٩٨٠٠	٠,٠٤١١٣	٠,٠٣٦٦٩
٤,٠	٠,٠٧٦٠٠	٠,١١٦٠٠	٠,٠٤٨٠٠	٠,٠٤٣٠٠
٤,٥	٠,٠٨٧٨٤	٠,١٣٥٠٠	٠,٠٥٥٢٥	٠,٠٤٩٦٩
٥,٠	٠,٠٩٩٩٥	٠,١٥٦٠٠	٠,٠٦٣٠٠	٠,٠٥٦٧٥
٥,٥	٠,١١٢٣٤	٠,١٨٠٠٠	٠,٠٧١٢٥	٠,٠٦٤١٩
٦,٠	٠,١٢٥٠٠	٠,٢٠٦٠٠	٠,٠٨٠٠٠	٠,٠٧٢٠٠

opeikandl.com

تابع الجدول رقم (٢,١٤).

المدة (ساعة)	النوع ١	النوع ١ أ	النوع ٢	النوع ٣
٦,٥	٠,١٣٩١٥	٠,٢٣٧٠٠	٠,٠٨٩٢٥	٠,٠٨٠٦٣
٧,٠	٠,١٥٦٠٠	٠,٢٦٨٠٠	٠,٠٩٩٠٠	٠,٠٩٠٥٠
٧,٥	٠,١٧٤٦٠	٠,٣١٠٠٠	٠,١٠٩٢٥	٠,١٠١٦٣
٨,٠	٠,١٩٤٠٠	٠,٤٢٥٠٠	٠,١٢٠٠٠	٠,١١٤٠٠
٨,٥	٠,٢١٩٠٠	٠,٤٨٠٠٠	٠,١٣٢٢٥	٠,١٢٨٤٤
٩,٠	٠,٢٥٤٠٠	٠,٥٢٠٠٠	٠,١٤٧٠٠	٠,١٤٥٧٥
٩,٥	٠,٣٠٣٠٠	٠,٥٥٠٠٠	٠,١٦٣٠٠	٠,١٦٥٩٤
١٠,٠	٠,٥١٥٠٠	٠,٥٧٧٠٠	٠,١٨١٠٠	٠,١٨٩٠٠
١٠,٥	٠,٥٨٣٠٠	٠,٦٠١٠٠	٠,٢٠٤٠٠	٠,٢١٦٥٠
١١,٠	٠,٦٢٣٠٠	٠,٦٢٤٠٠	٠,٢٣٥٠٠	٠,٢٥٠٠٠
١١,٥	٠,٦٥٥٥٠	٠,٦٤٥٠٠	٠,٢٨٣٠٠	٠,٢٩٨٠٠
١٢,٠	٠,٦٨٤٠٠	٠,٦٦٤٠٠	٠,٦٦٣٠٠	٠,٥٠٠٠٠
١٢,٥	٠,٧٠٩٢٥	٠,٦٨٣٠٠	٠,٧٣٥٠٠	٠,٧٠٢٠٠
١٣,٠	٠,٧٣٢٠٠	٠,٧٠١٠٠	٠,٧٧٢٠٠	٠,٧٥٠٠٠
١٣,٥	٠,٧٥٢٢٥	٠,٧١٩٠٠	٠,٧٩٩٠٠	٠,٧٨٣٥٠
١٤,٠	٠,٧٧٠٠٠	٠,٧٣٦٠٠	٠,٨٢٠٠٠	٠,٨١١٠٠
١٤,٥	٠,٧٨٦٢٥	٠,٧٥٢٨١	٠,٨٣٧٦٣	٠,٨٣٤٠٦
١٥,٠	٠,٨٠٢٠٠	٠,٧٦٩٢٤	٠,٨٥٣٥٠	٠,٨٥٤٢٥
١٥,٥	٠,٨١٧٢٥	٠,٧٨٥٢٩	٠,٨٦٧٦٣	٠,٨٧١٥٦
١٦,٠	٠,٨٣٢٠٠	٠,٨٠٠٩٦	٠,٨٨٠٠٠	٠,٨٨٦٠٠
١٦,٥	٠,٨٤٦٢٥	٠,٨١٦٢٥	٠,٨٩١١٩	٠,٨٩٨٣٨
١٧,٠	٠,٨٦٠٠٠	٠,٨٣١١٦	٠,٩٠١٧٥	٠,٩٠٩٥٠

obeikandi.com

تابع الجدول رقم (٢,١٤).

المدة (ساعة)	النوع ١	النوع ١ أ	النوع ٢	النوع ٣
١٧,٥	٠,٨٧٣٢٥	٠,٨٤٥٦٩	٠,٩١١٦٩	٠,٩١٩٣٨
١٨,٠	٠,٨٨٦٠٠	٠,٨٥٩٨٤	٠,٩٢١٠٠	٠,٩٢٨٠٠
١٨,٥	٠,٨٩٨٢٥	٠,٨٧٣٦١	٠,٩٢٩٦٩	٠,٩٣٥٨١
١٩,٠	٠,٩١٠٠٠	٠,٨٨٧٠٠	٠,٩٣٧٧٥	٠,٩٤٣٢٥
١٩,٥	٠,٩٢١٢٥	٠,٩٠٠٠١	٠,٩٤٥١٩	٠,٩٥٠٣١
٢٠,٠	٠,٩٣٢٠٠	٠,٩١٢٦٤	٠,٩٥٢٠٠	٠,٩٥٧٠٠
٢٠,٥	٠,٩٤٢٢٥	٠,٩٢٤٨٩	٠,٩٥٨٤٤	٠,٩٦٣٣٦
٢١,٠	٠,٩٥٢٠٠	٠,٩٣٦٧٦	٠,٩٦٤٧٥	٠,٩٦٩٤٤
٢١,٥	٠,٩٦١٢٥	٠,٩٤٨٢٥	٠,٩٧٠٩٤	٠,٩٧٥٢٣
٢٢,٠	٠,٩٧٠٠٠	٠,٩٥٩٣٦	٠,٩٧٧٠٠	٠,٩٨٠٧٥
٢٢,٥	٠,٩٧٨٢٥	٠,٩٧٠٠٩	٠,٩٨٢٩٤	٠,٩٨٥٩٨
٢٣,٠	٠,٩٨٦٠٠	٠,٩٨٠٤٤	٠,٩٨٨٧٥	٠,٩٩٠٩٤
٢٣,٥	٠,٩٩٣٢٥	٠,٩٩٠٤١	٠,٩٩٤٤٤	٠,٩٩٥٦١
٢٤,٠	١,٠٠٠٠٠	١,٠٠٠٠٠	١,٠٠٠٠٠	١,٠٠٠٠٠

المصدر: USDA (1986) ; Ponce (1989).

منهج نموذج HEC-1 Model Approach

يستخدم هذا النموذج قيم محددة من أعماق التساقط في فترات ٥، ١٥، ٦٠ دقيقة و٢، ٣، ٦، ١٢، ٢٤، ٩٦، ١٦٨، ١٤٠ ساعة اعتماداً على مدة تدفق عاصفة التصميم. ويكوّن النموذج توزيعاً مثلثاً بعمق نزول مطر محدد لأي مدة يحدث أثناء الجزء المركزي من التدفق المفاجئ (العاصفة). وتعتبر هذه الطريقة مناسبة للحالات التي لا يمكن تحديد متتاليات الموقع المحددة للتساقط الزائد.

obeikandi.com

فواقد التربة Soil Losses

تشمل فواقد التربة الجزء من التساقط الذي يفقد بسبب التسرب والنتح والحجز بالكساء الأخضر ومخزون الانخفاض والتبخر. وطرق تقدير فواقد التربة بسيطة نسبياً في الاستخدام ولا تتطلب وجود معاملات. وبعض الصعوبات النسبية التي تواجه الحصول على فواقد التربة موضحة في الجزء التالي:

١– الفقد الأولي الثابت (مم) المتبوع بمعدل الفقد المنتظم (مم/ الساعة). تعد هذه مناسبة لأحواض الصرف التي تكون متاحاً فيها القيم المعايرة للفقد المنتظم ومعدل الفقد المنتظم لحدث التدفق المفاجئ (العاصفة) الشبيهة بتلك التي يطور لأجلها المنحنى المائي للجريان السطحي. ويفقد التساقط بأكمله حتى يكتمل الفقد الأولي الموصوف مسبقاً. بالتالي يحدث الفقد في التساقط بالمعدل المنتظم الموصوف مسبقاً.

٢– طريقة رقم المنحنى (USDA 1972, 1985; ASCE 1996). في هذه الطريقة يخصص رقم منحنى (CN) لكل مكون من مناشئ المياه اعتماداً على نوع التربة واستخدام الأرض وأحوال الرطوبة الأولية للتربة. و إن إحصائيات التربة المنشورة لمعظم المدن بالولايات المتحدة متاحة في كثير من المكتبات والمكاتب المحلية لهيئة المحافظة على الموارد الطبيعية. وتصنف أنواع التربة إلى أربع مجموعات تربة هيدرولوجيا:

أ) أنواع التربة ذات معدلات التسرب العالي حتى عندما تكون مبتلة تماماً وتتكون بشكل رئيس من رمال أو حصى جيدة الصرف إلى زائدة الصرف. وهذه الأنواع لها إمكانية جريان سطحي منخفض ويخصص لها أرقام منحنى منخفضة.

ب) الأنواع ذات معدلات التسرب المتوسط عندما تكون مبتلة تماماً وتتكون بشكل رئيس من أنواع التربة العميقة والمتوسطة إلى جيدة الصرف ذات القوام متوسط النعومة إلى القوام متوسط الخشونة.

ج) الأنواع ذات معدلات التسرب القليل عندما تكون مبتلة تماماً وتتكون بشكل رئيس من أنواع التربة ذات الطبقات التي تعيق حركة المياه لأسفل أو أنواع التربة ذات القوام متوسط النعومة إلى القوام الناعم. وهذه الأنواع لها إمكانية جريان سطحي عالي نسبياً ويخصص لها أرقام منحنى عالية بشكل متوسط.

د) الأنواع التي لها معدلات تسرب قليل جداً عندما تكون مبتلة تماماً وتتكون بشكل رئيس من أنواع التربة الطينية ذات إمكانية انتفاخ عالية وأنواع التربة التي لها منسوب مياه عالي بشكل دائم وأنواع التربة التي بها طبقة طينية عند أو قريباً من السطح وأنواع التربة قليلة العمق فوق طبقة غير منفذة تقريباً. وهذه الأنواع لها إمكانية جريان سطحي عالية ويخصص لها أرقام منحنى عالية.

أحوال رطوبة التربة الناتجة من الظروف الجوية التي تسبق حدوث العاصفة المطرية التي يطور لها المنحنى المائي للجريان السطحي، يشار لها على أنها أحوال الرطوبة الأولية (AMC). وتنقسم أحوال الرطوبة الأولية إلى ثلاث حالات:

١- أحوال الرطوبة الأولية ١: وهي تمثل الحالة التي تكون التربة فيها جافة لكن ليس لحد نقطة الذبول والتساقط المقدم (خلال ٥ أيام قبل حدوث التدفق المفاجئ) يكون أقل من ١٣ مم لموسم السكون وأقل من حوالي ٣٦مم لموسم نمو المحصول.

٢- أحوال الرطوبة الأولية ٢: وهي تمثل متوسط الأحوال التي تمثل العواصف السنوية عندما يكون التساقط المقدم من ١٣ إلى ٢٨مم لموسم السكون ومن ٣٦ إلى ٥٣مم لموسم نمو المحصول.

٣- أحوال الرطوبة الأولية ٣: وهي تمثل أحوال سقوط المطر الغزير (أكبر من ٢٨مم أثناء موسم السكون وأكبر من ٥٣مم أثناء موسم نمو المحصول) أو أن سقوط المطر الخفيف ودرجات الحرارة المنخفضة قد حدثت خلال ٥ أيام سابقة على حدوث العاصفة المطرية.

وطبقاً لطريقة رقم المنحنى:

$$Q = (P - I_a)^2 / [P + 0.8\,S_a] \qquad (٢,٤٠)$$

حيث إن:

Q = الجريان السطحي (سم).

P = التساقط الكلي (سم).

S_a = أقصى احتجاز محتمل كما هو محدد في المعادلة رقم (٢,٦) (سم).

I_a = التسرب الأولي (سم) = $0.2\ S_a$.

وإذا كانت $P \le I_a$ فلا يكون هناك جريان سطحي.

أرقام المنحنى في حالة أحوال الرطوبة الأولية٢ معطاة في الجدول رقم (٢,١٥) (USDA 1972, 1985). وأرقام المنحنى المناظرة لأحوال الرطوبة الأولية١ وأحوال الرطوبة الأولية ٣ يمكن تقديرها باستخدام المعادلات التالية (Hawkins *et al.* 1985):

$$CN_I\,(CN_S \text{ for AMCI}) = CN_{II} / (2.3 - 0.013\,CN_{II}) \qquad (٢,٤١)$$

$$CN_{III}\,(CN_S \text{ for AMCIII}) = CN_{II} / (0.43 + 0.0057\,CN_{II}) \qquad (٢,٤٢)$$

إذا كان مناشئ المياه يحتوى على أجزاء بها أنـواع عديـدة مـن التربـة وتركيبـات غطـاء التربـة، ورقـم المنحنـى المناسـب CN_s مخـصص لكـل جـزء ويمكـن تقـدير رقـم المنحنى CN الموزون لكامل مناشئ المياه باستخدام المعادلة:

$$CN\,(weighted) = CN(1)\,A_1 + CN(2)\,A_2 + ... + CN(n)\,A_n \qquad (٢,٤٣)$$

حيث إن:

$CN(1)\,A_1$ = رقم المنحنى١ والمساحة١ على الترتيب، وهكذا لبـاقي الأجـزاء المختلفة.

n = العدد الكلي للأجزاء في مناشئ المياه.

الجدول رقم (٢,١٥). أرقام منحنى الجريان السطحي النموذجية (AMCII و $I_a = 0.2\,S_a$).

الغطاء			مجموعة التربة الهيدرولوجيا			
استخدام الأرض	المعالجة أو الممارسة	الظروف الهيدرولوجيا	A	B	C	D
أرض محروثة بدون زراعة	صف مستقيم	–	٧٧	٨٦	٩١	٩٤
محاصيل صفية	صف مستقيم	فقيرة	٧٢	٨١	٨٨	٩١
		جيدة	٦٧	٧٨	٨٥	٨٩
	خطوط كنتورية	فقيرة	٧٠	٧٩	٨٤	٨٨
		جيدة	٦٥	٧٥	٨٢	٨٦
	خطوط كنتورية مسورة	فقيرة	٦٦	٧٤	٨٠	٨٢
		جيدة	٦٢	٧١	٧٨	٨١
حبوب صغيرة	صف مستقيم	فقيرة	٦٥	٧٦	٨٤	٨٨
		جيدة	٦٣	٧٥	٨٣	٨٧
	خطوط كنتورية	فقيرة	٦٣	٧٤	٨٢	٨٥
		جيدة	٦١	٧٣	٨١	٨٤

obeikandl.com

تابع الجدول رقم (٢,١٥).

	الغطاء		مجموعة التربة الهيدرولوجيا			
استخدام الأرض	المعالجة أو الممارسة	الظروف الهيدرولوجيا	A	B	C	D
	خطوط كنتورية مسورة	فقيرة	٦١	٧٢	٦٩	٨٢
		جيدة	٥٩	٧٠	٧٨	٨١
بذور إنتاج و بقول	صف مستقيم	فقيرة	٦٦	٧٧	٨٥	٨٩
مروج خضراء ومراعي		جيدة	٥٨	٧٢	٨١	٨٥
مبذورة أو منثورة بالحبوب	خطوط كنتورية	فقيرة	٦٤	٧٥	٨٣	٨٥
		جيدة	٥٥	٦٩	٧٨	٨٣
	خطوط كنتورية مسورة	فقيرة	٦٣	٧٣	٨٠	٨٣
		جيدة	٥١	٦٧	٧٦	٨٠
مراعي أو سلاسل جبال	عام	فقيرة	٦٨	٧٩	٨٦	٨٩
		متوسطة	٤٩	٦٩	٧٩	٨٤
		جيدة	٣٩	٦١	٧٤	٨٠
أرض خضراء	عام	جيدة	٣٠	٥٨	٧١	٧٨
أخشاب	عام	فقيرة	٤٥	٦٦	٧٧	٨٣
		متوسطة	٣٦	٦٠	٧٣	٧٩
		جيدة	٢٥	٥٥	٧٠	٧٧
مزارع	عام	عام	٥٩	٧٤	٨٢	٨٦
طرق	تراب	عام	٧٢	٨٢	٨٧	٨٩
	سطح صلب	عام	٧٤	٨٤	٩٠	٩٢
أرض فضاء (حدائق،	غطاء عشبي <٥٠٪	فقيرة	٦٨	٧٩	٨٦	٨٩
مروج، ملاعب جولف،	غطاء عشبي ٥٠-٧٥٪	متوسطة	٤٩	٦٩	٧٩	٨٤

obeikandl.com

تابع الجدول رقم (٢,١٥).

استخدام الأرض	الغطاء: المعالجة أو الممارسة	الغطاء: الظروف الهيدرولوجيا	مجموعة التربة الهيدرولوجيا: A	B	C	D
مقابر، الخ)	غطاء عشبي>٧٥٪	جيدة	٣٩	٦١	٧٤	٨٠
مناطق تجارية وعمالية (٨٥٪ غير منفذة)	عام	عام	٨٩	٩٢	٩٤	٩٥
أحياء صناعية (٧٢٪ غير منفذة)	عام	عام	٨١	٨٨	٩١	٩٣
مناطق سكنية	تقل أرقام المنحنى مع الزيادة في حجم القطعة.	أحجام من ٨/١ إلى ٢ ايكر	٤٦-٧٧	٦٥-٨٥	٧٧-٩٠	٨٢-٩٢
أماكن انتظار السيارات	عام	عام	٩٥-٩٨	٩٥-٩٨	٩٥-٩٨	٩٥-٩٨

المصدر: USDA (1972, 1985).

الجليد الذائب وأحمال الجليد Snowmelt and Snow Loads

طريقة بسيطة لتقدير مساهمة الجليد الذائب للزيادة في نزول المطر هي استخدام طريقة الدرجة-اليوم، كما في المعادلة التالية:

$$S_m = C_m (T - T_m) \qquad (٢,٤٤)$$

حيث إن:

S_m = الجليد الذائب في اليوم (مم).

T = درجة حرارة الهواء (م°) عند نقطة منتصف منطقة المجموعة الجليدية أثناء الفاصل الزمني الذي يحسب فيه الجليد الذائب.

T_m = درجة حرارة الهواء التي يذوب عندها الجليد (م°).

C_m = معامل الذوبان لكل درجة / يوم (مم/ م°)، عادة حوالي ٣,٢٠.

غالباً لا تكون درجات حرارة الهواء عند ارتفاعات مختلفة في منطقة المجموعة الجليدية متاحة. ولتقدير درجات حرارة الهواء عند ارتفاعات مختلفة من القيم المعروفة عند أحد الارتفاعات، يمكن استخدام معدل متوسط الفقد في درجة الحرارة مع التغير في الارتفاع. والقيمة النموذجية لمعدل الفقد في درجة الحرارة ٠,٦ م° لكل ١٠٠م تغير في الارتفاع.

إذا كانت البيانات التي تتعلق بدرجات حرارة الهواء عند ارتفاعات مختلفة وسرعة الرياح متاحة، فيمكن تقييم مساهمة الجليد الذائب أثناء المطر باستخدام المعادلة رقم (٢.٤٥) أو المعادلة رقم (٢.٤٦) (Chow 1964):

• في حالة المساحات المفتوحة (أقل من ١٠٪ غطاء) أو المجمدة جزئياً (من ١٠ إلى ٦٠٪ غطاء) من حوض النهر:

$$S_m = [1.326 + 0.2386\,kv + +0.0126\,P]T + 2.29 \qquad (٢,٤٥)$$

• في حالة المساحات شديدة التجمد (أكبر من ٨٠٪ غطاء):

$$S_m = [3.383 + 0.0126\,P]T + 1.27 \qquad (٢,٤٦)$$

حيث إن:

S_m = الجليد الذائب يومياً (مم).

T_a = متوسط درجة الحرارة للهواء المشبع (م°) عند مستوى ٣,٠ م.

v = متوسط سرعة الرياح (كم/ الساعة) عند مستوى ١٥,٢ م.

P = معدل التساقط (مم/ اليوم) في الأجزاء المفتوحة من حوض النهر.

k = معامل التغير من ٠,٣ للمساحات المجمدة إلى ١,٠ للسهول غير المجمدة.

وفي الغالب، يكون مطلوباً من مهندس مصادر المياه القيام بحساب أحمال المطر والجليد على أسقف المباني الصناعية (مثل، أبنية محطة الطاقة النووية) وبعض المباني السكنية. وإذا كان هناك سور لسقف المبنى يعمل على الاحتفاظ بكل من المطر أو الجليد على السطح، فإنه يمكن تقدير حمل السقف باستخدام أعماق التصميم ووحدة الأوزان من الجليد ومياه المطر. والمتوسط الأولي للجاذبية النوعية للجليد حوالي ٠.١٠. وفي بعض الحالات يتبع تساقط الجليد كميات صغيرة من سقوط المطر المتقطع. وعند سقوط مياه الأمطار على الجليد يلبّد الجليد ويمتص الماء حتى يصل للعتبة عندما يبدأ تصريف المياه الزائدة. وتكون متوسط الجاذبية النوعية للجليد الملبّد حوالي ٠.٤٠. والخطوات الحسابية لتقدير أحمال السقف بسبب الجليد الملبّد على الأسقف بدون وجود أسوار مدونة أدناه:

• احسب متوسط الفاصل الزمني للتكرار ١٠٠ عام لحمل الجليد على الأرض في الموقع موضع الاهتمام من الخرائط المتاحة (مثل NBS 1972).

• احصل على حمل الجليد المناظر على السقف عن طريق ضرب حمل الجليد على الأرض في معامل حمل الجليد الأساسي ٠,٨. ويمكن أن يقل هذا المعامل للأسقف المائلة بسبب تزحلق الجليد، ويزداد المعامل في حالة تراكم الجليد على السقف المعالجة بالقار أو المنحنية.

• احصل على عمق الجليد h_0 (م)، من حمل الجليد الأولي المحسوب على السقف باستخدام جاذبية نوعية تساوي ٠,١٠.

• احصل على مكافئ الماء الأولي للجليد H_0 (م)، باستخدام العلاقة: $H_0 = 0.10\,h_0$.

• احصل على أعماق الجليد الملبّد h (م)، ومكافئه للماء H (م)، عند حالة العتبة باستخدام العلاقات التجريبية (USBR 1966):

$$H = 0.4\ h \qquad (٢,٤٧)$$

$$h/h_0 = 1.474 - 0.474\,H/H_0 \qquad (٢,٤٨)$$

• احسب حمل السقف من الجليد الملبّد لعمق الماء المكافئ H (م).

مثال رقم (٢,٧): احسب حمل السقف من الجليد الملبّد على مبنى قرب ميلوكي، ويسكنسون.

الحل:

متوسط ١٠٠ سنة للفاصل الزمني لتكرار حمل الجليد على الأرض يساوي ١٤٦,٥ كجم/ م[٢] (NSB 1972)، حمل الجليد المناظر على السقف =

$$0.80 \times 146.5 = 117.2\ kg/m^2$$

عمق الجليد الأولي =

$$h_0 = 117.2/(0.10 \times 1000) = 1.172\ m$$

مكافئ الماء الأولي =

$$H_0 = 0.10 h_0 = 0.1172\ m$$

$$h/h_0 = H/(0.4\,h_0) = 1.474 - 0.474\,H/H_0$$

بالتالي:

$$H = 0.2386 m$$

حمل السقف الناتج عن الجليد الملبّد =

$$0.2386 \times 1000 = 238.6\ \ kg/m^2$$

obeikandl.com

تدفق القاعدة Base Flow

تم اقتراح عدد من الطرق لتقدير تدفق القاعدة (مثل ASCE 1996). عادةً تدفق القاعدة هو مكون صغير من المنحنى المائي للفيضان ويصعب التحقق من تقديراتها. ما لم تكن القيم المعايرة معروفة، يمكن إيجاد تدفق قاعدة ثابت معقول لمعظم الأغراض العملية. هذه القيمة الثابتة يمكن أن تكون مساوية تقريباً لتدفق المناخ الجاف عند نقطة الحسابات.

المنحنيات المائية المدمجة والتخديد خلال القنوات

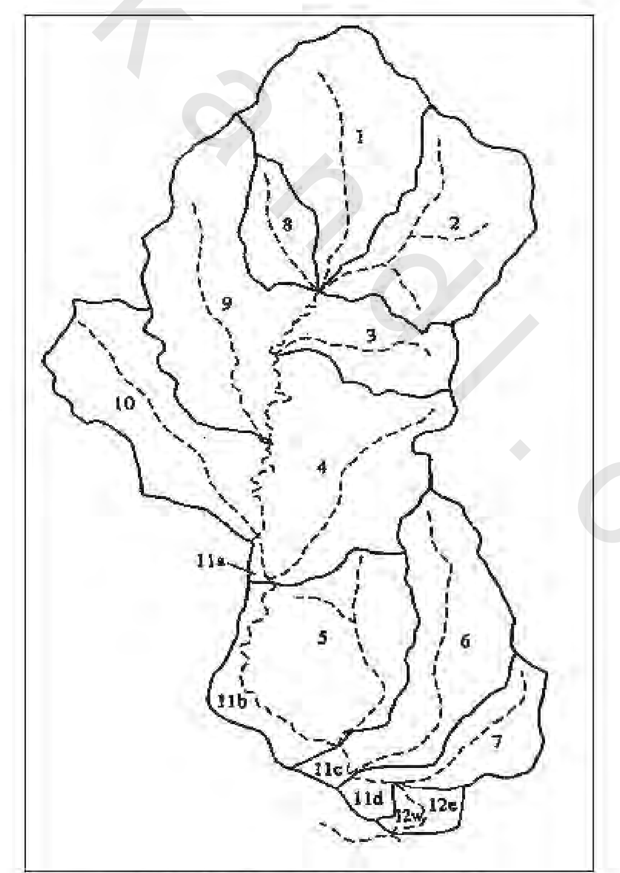
Combining Hydrographs and Routing Through Channels

المنحنيات المائية للجريان السطحي لمناشئ المياه الفرعية المتعددة يجب أن يتم دمجها عند نقاط اتصال مختلفة على طول المجرى المائي الرئيس. وفي بعض الأحيان يجب أن يتم تأخير المنحنيات البيانية قبل الدمج والتخديد. هناك طرق عديدة متاحة للمنحنيات المائية للتخديد خلال قنوات المجرى المائي (مثل، ;USACE 1991a,2002 ASCE 1996). واعتماداً على سهولة تقدير المعاملات المطلوبة يمكن استخدام أي من هذه الطرق. إن طرق إعاقة المنحنى المائي بعدد محدد من الخطوات الزمنية، رغم أنه مباشر، يمكن أن يتطلب تعديل المدخل لنماذج مختلفة. وفي حالة نموذج HEC-1 يمكن أن يكون استخدام خيارات موسكينجم أو سترادلستاجر مناسباً. وفي هذه الحالات يمكن اعتبار معاملات الفقد في القناة على أنها تساوى صفر. ويمكن وضع خطوات التخديد على أنها تسوى ١، ويؤخذ متوسط عدد الإحداثيات الرأسية على أنه يساوى صفر (انظر كتيبات المستخدم HEC-1 أو HEC-HMS ونموذج USACE 1991a, 2002).

مثال رقم (٢,٨): طور منحنى مائي لفيضان في ١٠٠ سنة لمنشأة مياه بمساحة ٦,٠٤٤كم٢، موضحة في الشكل رقم (٢,٣).

الحل:

١- قسم منشأة المياه إلى ١٢ منشأ مياه فرعي كما هو موضح في الشكل رقم (٢,٣)، مناشئ المياه الفرعية من ١ إلى ١٠ لها منافذ نقطة ومنحنيات مائية وحدوية يجب أن يتم تحديدها لهم. مناشئ المياه الفرعية ١١ و١٢ تساهم في التدفق الجانبي ويتم تحليلها باستخدام طريقة الموجة الكينياتيكية. ولهذا الغرض يتم تقسيم المنشئ الفرعي ١١ أيضاً إلى ١١(أ) و ١١(ب) و ١١(ج) و ١١(د)، والمنشئ الفرعي ١٢ إلى ١٢(و) و ١٢(ز).



الشكل رقم (٢,٣). خريطة مناشئ المياه.

Opendkandi.com

٢- من خرائط التربة والطبوغرافية الخاصة بمناشئ المياه، احسب معـاملات الموجة الكينيماتيكية والهيدروليكية كما هو موضح في الجداول رقم (٢,١٦ أ) والجدول رقم (٢,١٦ ب).

الجدول رقم (٢,١٦ أ). المعاملات الهيدروليكية لمناشئ المياه الفرعية.

المنشئ الفرعي للمياه	المعاملات الهيدروليكية					
	D.A. (كم٢)	L (كم)	H (م)	t_c (ساعة)	t_t (ساعة)	CN
١	٧,٦١	٥,٤٩	٤٥,٧٢	١,٥٥	٠,٩٣	٦٥
٢	٦,٥٨	٤,٤٣	٤٨,٧٧	١,١٨	٠,٧١	٦٥
٣	٣,١٦	٢,٧٢	٥٣,٣٤	٠,٦٥	٠,٣٩	٦٥
٤	٨,١٨	٤,٧٣	٧٦,٨١	١,٠٧	٠,٦٤	٦٥
٥	٧,٤٣	٤,١٢	٥٧,٩١	١,٠٢	٠,٦١	٦٥
٦	٦,٢١	٦,٢٤	٨٥,٥٦	١,٤١	٠,٨٥	٦٥
٧	٢,٥٤	٣,٣٥	٣٢,٠٠	١,٠٠	٠,٦٠	٦٥
٨	١,٩٤	٢,٨٠	٤٣,٣٨	٠,٦٩	٠,٤٢	٦٥
٩	٧,٩٨	٦,٥٥	٦٨,٥٨	١,٦٣	٠,٩٨	٦٥
١٠	٦,٣٢	٥,٤٩	٦٧,٣٦	١,٣٤	٠,٨٠	٦٥

D.A. = منطقة الصرف، L = الطول الهيدروليكي، H = اختلاف المناسيب بين حافتي المنبع والمصب.

٣- قم بإعداد المنحنى البياني لشبكة العمل الهيدرولوجية كما هـو موضـح في الشكل رقم (٢,٤).

٤- قم بإعداد حسابات تتالي سقوط المطر والجريان السطحي كما هو موضـح في الجدول رقم (٢,١٦ ج).

obeikandi.com

٥- احسب التوزيع الزمني لأعماق التساقط.

٦- استخدم المدخل المطور في الخطوات السابقة للنموذج المختار لتحديد المنحنى المائي للجريان السطحي لكل منشىء من مناشىء المياه وادمجها لتحديد المنحنى المائي للجريان السطحي لمنشىء المياه بأكمله.

٧- قارن القمة المقدرة للمنحنى المائي لمنشىء المياه بالتقديرات باستخدام طرق أخرى كما هو موضح في الجدول رقم (٢,١١).

الجدول رقم (٢,١٦ ب). معاملات الموجة الكينياتيكية لمناشىء المياه الفرعية ١١ و١٢.

الخط الفرعي لتقسيم المياه	D.A. (كم²)	متغيرات التدفق الجانبي L	S	n	نسبة المنطقة	متغيرات القنوات الأساسية L	S	W.D.	Z
١١ (أ)	٠,٢١	٢١٣,٣٥	٠,٠٥٠	٠,٣٠	١٠٠	١١٥٨,١٨	٠,٠٠٢٦	٣,٠٥	٢,٠
١١ (ب)	١,٤٨	٣٦٥,٧٤	٠,٠٠٨	٠,٢٠	١٠٠	٤٢٦٧,٠٠	٠,٠٠٢٥	٣,٠٥	٢,٠
١١ (ج)	٠,٣٦	٦٠٩,٥٧	٠,٠٠٥	٠,٢٠	١٠٠	٩١٤,٣٦	٠,٠٠٢٣	٣,٠٥	٢,٠
١١ (د)	٠,٤٤	٤٥٧,١٨	٠,٠٠٨	٠,٢٠	١٠٠	١٠٦٦,٧٥	٠,٠٠٠٩	٣,٠٥	٢,٠
١٢ (و)	٠,٣١	٣٠٤,٧٩	٠,٠١٥	٠,٣٠	٣٢	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
١٢ (ز)	٠,٦٢	٤٥٧,١٨	٠,٠١٠	٠,٣٠	٦٨	١٦٧٦,٣٢	٠,٠٠٠٩	٣,٦٦	٢,٠

L = الطول (م)، S = الميل (م/ م)، .W.D = عرض قاع القناة المقرب بشبه المنحرف (م)

Z = ميل القاع (أفقي: رأسي)، .N.A = لا يمكن تطبيقه.

openiland.com

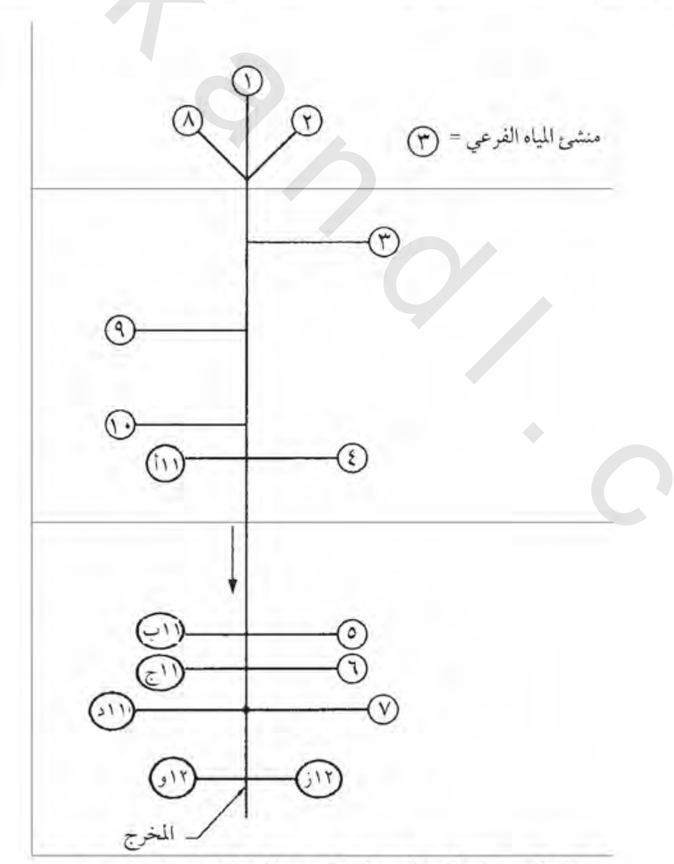
الجدول رقم (٢,١٦ ج). حسابات تتالي سقوط المطر - الجريان السطحي.

١	تحديد المنحنى المائي لمنشوع المياه الفرعي ١.
٢	تحديد المنحنى المائي لمنشوع المياه الفرعي ٢.
٣	تحديد المنحنى المائي لمنشوع المياه الفرعي ٨.
٤	دمج المنحنيات المائية لمناشيء المياه الفرعية ١، ٢، ٨.
٥	التخديد خلال القناة حتى مخرج منشوع المياه الفرعي ٣.
٦	تحديد المنحنى المائي لمنشوع المياه الفرعي ٣.
٧	دمج المنحنيات المائية لمناشيء المياه الفرعية ١، ٢، ٨، ٣.
٨	التخديد خلال القناة حتى مخرج منشوع المياه الفرعي ٩.
٩	تحديد المنحنى المائي لمنشوع المياه الفرعي ٩.
١٠	دمج المنحنيات المائية لمناشيء المياه الفرعية ١، ٢، ٨، ٣، ٩.
١١	التخديد خلال القناة حتى مخرج منشوع المياه الفرعي ١٠.
١٢	تحديد المنحنى المائي لمنشوع المياه الفرعي ١٠.
١٣	دمج المنحنيات المائية لمناشيء المياه الفرعية ١، ٢، ٨، ٣، ٩، ١٠.
١٤	تحديد المنحنى المائي للتدفق الجانبي من منشوع المياه الفرعي ١١أ وتحديد المنحنى المائي المدمج لمخرج منشوع المياه الفرعي ٤ (باستخدام منهج الموجة الكينماتيكية لنموذج HEC-1).
١٥	تحديد المنحنى المائي لمنشوع المياه الفرعي ٤.
١٦	دمج المنحنيات المائية لمناشيء المياه الفرعية ١، ٢، ٨، ٣، ٩، ١٠، ١١أ، ٤.
١٧	تحديد المنحنى المائي للتدفق الجانبي من منشوع المياه الفرعي ١١ب وتحديد المنحنى المائي المدمج لمخرج منشوع المياه الفرعي ٥ (باستخدام منهج الموجة الكينماتيكية لنموذج HEC-1).
١٨	تحديد المنحنى المائي لمنشوع المياه الفرعي ٥.
١٩	دمج المنحنيات المائية لمناشيء المياه الفرعية ١، ٢، ٨، ٣، ٩، ١٠، ١١أ، ٤، ١١ب، ٥.
٢٠	تحديد المنحنى المائي للتدفق الجانبي من منشوع المياه الفرعي ١١ج وتحديد المنحنى المائي المدمج لمخرج منشوع المياه الفرعي ٦ (باستخدام منهج الموجة الكينماتيكية لنموذج HEC-1).
٢١	تحديد المنحنى المائي لمنشوع المياه الفرعي ٦.
٢٢	دمج المنحنيات المائية لمناشيء المياه الفرعية ١، ٢، ٨، ٣، ٩، ١٠، ١١أ، ٤، ١١ب، ٥، ١١ج، ٦.

obeikandl.com

تابع الجدول رقم (٢,١٦ ج).

٢٣	تحديد المنحنى المائي للتدفق الجانبي من منشوع المياه الفرعي ١١د وتحديد المنحنى المائي المدمج لمنفذ منشوع المياه الفرعي ٧ (باستخدام منهج الموجة الكينماتيكية لنموذج HEC-1).
٢٤	تحديد المنحنى المائي لمنشوع المياه الفرعي ٧.
٢٥	دمج المنحنيات المائية لمناشوع المياه الفرعية ١، ٢، ٨، ٣، ٩، ١٠، ١١أ، ٤، ١١ب، ٥، ١١ج، ٦، ١١د، ٧.
٢٦	تحديد المنحنى المائي للتدفق الجانبي من منشوع المياه الفرعي ١٢و، ١٢ز وتحديد المنحنى المائي المدمج لمخرج منشوع المياه الفرعي ١٢ (باستخدام منهج الموجة الكينماتيكية لنموذج HEC-1).



الشكل رقم (٢,٤). الخط البياني للشبكة الهيدرولوجية.

المنحنى المائي لأقصى فيضان محتمل Probable Maximum Flood Hydrograph

يعرف المنحنى المائي لأقصى فيضان محتمل (PMF) على أنه الفيضان الافتراضي (تصرف القمة والحجم وشكل المنحنى المائي) الذي يعد الأكثر شدة اعتماداً على تطبيق الأحوال الجوية المائية الشاملة لأقصى تساقط محتمل (PMP) وعوامل هيدرولوجيا أخرى موافقة لأقصى انسياب فيضان، مثل العواصف المتعاقبة وذوبان الجليد (USNRC 1977). وتستخدم معاملات منشىء المياه المحافظ (مثل، زمن التركيز ومتغيرات الفقد في التربة) سوياً مع أحداث أحوال الجو المائية التنقيبية المدمجة، لتحديد المنحنى المائي لأقصى فيضان محتمل (Prakash 1978, 1983). وهي تشمل كمية أقصى تساقط رئيس محتمل للعاصفة في المدة المطلوبة والتوزيع الزمني وتتالى التساقط التزايدي وأحوال الرطوبة الأولية والتدفق المفاجىء المقدم الذي يفترض أن يسبق العاصفة الرئيسة.

ويمكن اعتبار أن العاصفة المقدمة تبلغ ٤٠٪ من أقصى تساقط محتمل يحدث حوالي ٥ أيام قبل العاصفة الرئيسة، وأن حالة الرطوبة المقدمة يمكن اتخاذها AMC-II. والنسبة لمناشىء المياه داخل الولايات المتحدة يمكن الحصول على تقديرات المدد المختلفة المتعلقة بها من منشورات وزارة التجارة بالولايات المتحدة (مثل USDOC 1961, 1962, 1965, 1969, 1977, 1978, 1982, 1983, 1988, 1994). وفي المناطق التي تكون فيها العواصف الرعدية المحلية الكثيفة قصيرة المدة والعواصف العامة طويلة المدة شائعة يجب عمل تقديرين لأقصى تساقط محتمل للعاصفة الرئيسة. ومثال على هذه المناطق تلك التي توجد غرب دائرة خط الطول ١٠٣ درجة بالولايات المتحدة. وطرق تقدير أقصى تساقط محتمل للعاصفة المحلية قصيرة المدة (عادةً ٦ ساعات) وأقصى تساقط محتمل للعواصف العامة طويلة المدة (عادةً ٢٤ – ٩٦

ساعة) مبينة في الدراسات المذكورة سابقاً. وكمثال تستخدم الخطوات التالية لحساب أقصى تساقط محتمل للعاصفة العامة لنهر كلورادو ومصارف جريت باسين باستخدام الأشكال والجداول في تقرير الأحوال الجوية المائية رقم ٤٩ (USDOC 1977):

١ – تقدير أقصى تساقط محتمل متقارب في ٢٤ ساعة بمساحة ٢٦كم^{٢} عند موقع منطقة الصرف موضع الاهتمام.

٢ – تخفيض أقصى تساقط محتمل متقارب في ٢٤ ساعة مقدر للارتفاعات الحدودية.

٣ – تقدير أقصى تساقط محتمل تراكمي متقارب في ٢٤ ساعة لمدة ٦ ، ١٢ ، ١٨ ، ٢٤ ، ٤٨ ، ٧٢ ساعة باستخدام عوامل المضاعفة.

٤ – تقدير أقصى تساقط محتمل تزايدي متقارب في ٢٤ ساعة لمدة ٦ ،١٢ ، ١٨ ، ٢٤ ، ٤٨ ، ٧٢ ساعة.

٥ – تقدير أقصى تساقط محتمل تزايدي متقارب في ٢٤ ساعة مقلل المساحة لمدة ٦ ، ١٢ ،١٨ ، ٢٤ ، ٤٨ ، ٧٢ ساعة.

٦ – تقدير متوسط مساحة الصرف التراكمي لأقصى تساقط محتمل متقارب في ٢٤ ساعة لمدة ٦ ، ١٢ ،١٨ ، ٢٤ ، ٤٨ ، ٧٢ ساعة.

٧ – تقدير متوسط مساحة الصرف لأقصى تساقط جبلي محتمل في ٢٤ ساعة.

٨ – تقدير أقصى تساقط جبلي محتمل في ٢٤ ساعة المقدر مساحياً وموسمياً.

٩ – تقدير أقصى تساقط جبلي محتمل لمدة ٦ ، ١٢ ،١٨ ، ٢٤ ، ٤٨ ، ٧٢ ساعة باستخدام عوامل مضاعفة محددة.

١٠ – تقدير أقصى تساقط محتمل كلي لمدة ٦ ، ١٢ ،١٨ ، ٢٤ ، ٤٨ ، ٧٢ ساعة (أي تجميع أقصى تساقط محتمل متقارب وجبلي).

obeikandl.com

يمكن استخدام طرق تغير موضع العاصفة ومضاعفة الرطوبة الموصوفة في الدراسات سالفة الذكر والبيانات المحتواة في منشورات المنظمة الدولية للأحوال الجوية (مثل WMO 1986) لمناشئ المياه في أجزاء من العالم حيث لم تكن التقديرات الإقليمية أو الخاصة بالموقع لأقصى تساقط محتمل قد تطورت. وفي بعض الحالات يمكن تقدير المتوسط($\overline{X}$) والانحراف القياسي(s) لأعماق سقوط المطر القصوى السنوية في ٢٤ ساعة، من البيانات المتاحة الخاصة بالموقع أو البيانات الإقليمية، والتقدير التمهيدي لأقصى تساقط محتمل في ٢٤ ساعة(P_m) يمكن عمله باستخدام العلاقة (NRC 1985):

$$P_m(24h) = \overline{X} + 20\,s \qquad (٢,٤٩)$$

عند غياب البيانات التي يعتمد عليها يمكن استخدام المعادلة العملية التي تغلف معدلات سقوط المطر القصوى في العالم في الفترات المختلفة لعمل التقديرات التمهيدية لأقصى تساقط محتمل (USDOC 1961):

$$P_m(cm) = 38.9\,D^{0.486} \qquad (٢,٥٠)$$

حيث إن:

D = المدة (الساعة).

ينقسم عمق التساقط الكلي أثناء العاصفة إلى أعماق التساقط في الفترات الزمنية المساوية لمدة الوحدة للمنحنى المائي الوحدوي. ويتم ترتيب القيم العالية تنازلياً على حسب المقدار (أي، ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٦ ... الخ). وطرق عديدة لتقسيم أقصى تساقط محتمل إلى زيادات زمنية أصغر مساوية لمدة الوحدة ولتعاقبهم لتحديد المنحنى المائي لأقصى تساقط محتمل موضحة في الدراسات سالفة الذكر وأيضاً في النماذج HEC-1 و HEC-HMS. وفي التالي بعض المتتاليات الشائعة الاستخدام للتساقط التصاعدي:

١- ٦، ٤، ٢، ١، ٣، ٥.

٢- ٥، ٣، ١، ٢، ٤، ٦.

٣- التوزيع الافتراضي والمتتالي المحتوى في نموذج HEC-1 .

٤- طرق توزيع وتتالى المشروع القياسي والعاصفة لأقصى تساقط محتمل لمدة ٢٤، ٤٨، ٧٢، ٩٦ ساعة مبينة في نموذج HEC-1 .

التتالي الذي يعتمد على شكل المنحنى المائي الوحدوي لمنشئ المياه يمكن أن يستخدم في الحالات التي تحتاج إلى قمم أقصى فيضان محتمل المحافظة للغاية (Prakash 1978).

وحيث أن أقصى فيضان محتمل هو حدث افتراضي يقدر بشكل محافظ، فإنه يجب التحقق من معقولية قمة أقصى تساقط محتمل مقدر باستخدام الطرق البحثية. وعند التطبيق العملي، يمكن التحقق من متغيرات منشئ المياه مثل زمن التركيز ومتغيرات الفقد في التربة عن طريق المعايرة باستخدام المنحنيات المائية المرجعية لسقوط المطر والفيضان الملحوظ. وبعض الطرق العملية لتقدير تدفقات القمة التي تقترب من قمة أقصى فيضان محتمل مبينة فيما يلي (Crippen 1982):

١- معادلة كريبين:

$$Q_m = 577.26A^{0.8405} \times Z^{-0.751} \quad (٢,٥١ أ)$$

$$Z = 0.6217A^{0.5} + 5 \quad (٢,٥١ ب)$$

٢- معادلة كريجر:

$$Q_m = 130(0.386A)^B \quad (٢,٥٢ أ)$$

$$B = 0.9358A^{-0.048} \quad (٢,٥٢ ب)$$

٣- معادلة ماتاي:

$$Q_m = 174.3A^{0.61} \quad (٢,٥٣)$$

حيث إن:

Q_m = تدفق القمة (م^٣/ ث).

A = مساحة الصرف (كم^٢).

يجب التحقق أن قمة أقصى فيضان محتمل مقدر يكون قريباً من مدى القيم المحسوبة باستخدام الطرق العملية. وبالإضافة لذلك يجب أن تتوافق قمة أقصى فيضان محتمل مقدر مع أي من قمم أقصى فيضان محتمل سابقة التقدير في المنطقة.

مثال رقم (٢,٩): منشئ المياه لمجرى مائي يقع في منطقة عرضة للإعصار. يراد إنشاء سد على هذا المجرى المائي عند نقطة ما بحيث تكون مساحة الصرف ٥٣٥ كم^٢. وتحليل البيانات المحدودة والاستكمالات القياسية من البيانات الخاصة بمناشئ المياه في خط العرض الناتجة في أعماق أقصى تساقط محتمل PMP موضحة في الجدول رقم (٢,١٧ أ). أرسم منحنى مائي لأقصى فيضان محتمل PMF لتصميم هذا السد بفرض تدفق أساسي ثابت يساوي ١٠٠ م^٣/ ث.

الحل:

ينقسم منشئ المياه إلى سبعة مناشئ مياه فرعية كما هو موضح في الشكل رقم (٢,٥). تساهم أجزاء منشئ المياه ٣ الموجودة على يمين ويسار النهر في التدفق الجانبي على امتداد طرف المجرى المائي. إذن يستخدم خيار الموجة الكينماتيكية لنموذج HEC-1 لتحديد هذا المنحنى المائي لمنشئ المياه. والمعاملات المتعلقة بكل منشئ مياه فرعي موضحة في الجدول رقم (٢,١٧ ب). ويستخدم رقم منحنى النموذج AMC II بما يساوي ٧٠ لكل مناشئ المياه الفرعية. وحسابات تتالى سقوط المطر والجريان السطحي موضحة في الجدول رقم (٢,١٧ ج).

وللتبسيط يتم قبول التوزيع الافتراضي وتتابع التساقط الزائد المدمج في نموذج HEC-1. ويتطلب هذا وجود قيم أقصى تساقط محتمل PMP لمدة من ٥ و ١٥ دقيقة. وفي غياب البيانات الخاصة بالموقع يمكن تقدير قيم المدد الأصغر من قيمة ١ ساعة باستخدام النسب الموضحة في الجدول رقم (٢.١٧ د) (NOAA 1973):

أقصى تساقط محتمل PMP في ٥ دقائق =

$$0.29 \times 109.74 = 31.82 \text{ mm}$$

أقصى تساقط محتمل PMP في ١٥ دقيقة =

$$0.57 \times 109.74 = 62.55 \text{ mm}$$

يمكن استخدام المدخل المطور مسبقاً لنموذج سقوط المطر والجريان السطحي المختار. وفي هذه الحالة يستخدم نموذج HEC-1 الذي يؤدى إلى قمة أقصى فيضان محتمل PMF يساوي ١١٤٣٥ م^٣/ ث.

ولاختبار حفظ قمة أقصى فيضان محتمل PMF، استخدم المعادلات العملية الموضحة سابقاً كما هو مبين أدناه:

١ - معادلة كريبين:

$$z = 0.6214 \times 535^{0.5} + 5 = 19.373$$

و

$$Q_m = 577.26 \times 535^{0.8405} \times 19.373^{-0.751} = 12242 \ \text{m}^3/\text{s}$$

٢- معادلة كريجر:

$$B = 0.9358 \times 535^{-0.048} = 0.6922$$

و

$$Q_m = 130\left(0.386 \times 535\right)^{0.6922} = 5204 \ \text{m}^3/\text{s}$$

٣- معادلة ماتاي:

$$Q_m = 174.3 \times 535^{0.61} = 8046 \ \text{m}^3/\text{s}$$

من النتائج فإن القيم المقدرة بـ ١١٤٣٥ م^٣/ ث تعتبر صحيحة بشكل معقول.

openarkanah.com

الجدول رقم (٢,١٧ أ). أعماق أقصى تساقط محتمل PMP.

المدة (ساعة)	عمق التساقط (مم)
١	١٠٩,٧٤
٢	٢١١,٦٧
٣	٣٠٩,٦٧
٦	٥٥٤,٨٧
١٢	٨٢٨,٠٧
٢٤	١٠٩٢,٥٨
٤٨	١٣٣٨,٤

الجدول رقم (٢,١٧ ب). معاملات مناشئ المياه الفرعي.

منشئ المياه الفرعي	المساحة (كم²)	CN	زمن التأخير (ساعة) ومتغيرات الموجة الكينماتيكية
١	٧٠	٧٠	*١,٦٠
٢	٧٠	٧٠	*٢,٠٨
٤	٢٤	٧٠	*٢,١٤
٥	٥٦	٧٠	*١,٩٤
٦	١٦٤	٧٠	*٧,٤٢
٧	١٠٦	٧٠	*٤,٥٨
٣ (التدفق الجانبي من الجانب الأيمن على محيط النهر)**	٢٧	٧٠	L = 4500 m ; S = 0.50 m/m ; n= 0.30
٣ (التدفق الجانبي من الجانب الأيسر على محيط النهر)**	١٨	٧٠	L = 1500 m ; S = 0.40 m/m ; n = 0.30
٣ (متوسط تدفق القناة)**	٤٥	٧٠	L = 8500 m ; S = 0.0133 m/m ; n = 0.040 ; W.D. = 85 m ; z = 1.0

*: زمن التأخير (ساعة). **: متغيرات الموجة الكينماتيكية.

L = الطول الهيدروليكي، S = ميل الأرض، n = معامل الخشونة.

W.D. = عرض قاع القناة المقرب بشبه المنحرف، Z = ميل القاع (أفقي: رأسي).

obeikandl.com

الجدول رقم (٢,١٧ ج). حسابات تتالي سقوط المطر-الجريان السطحي لمناشئ المياه المعرضة للإعصار.

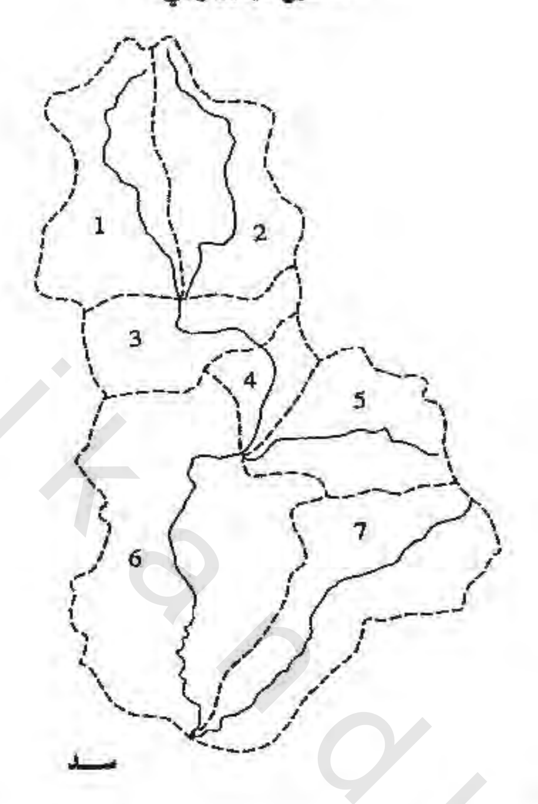
١	طور المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ١.
٢	طور المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٢.
٣	ادمج المنحنيات المائية لمناشئ المياه الفرعية ١، ٢.
٤	آخر المنحنى المائي المدمج بمقدار ٢ ساعة ليعكس التدفق إلى نهاية منشئ المياه الفرعي ٣.
٥	طور المنحنى المائي لأقصى تساقط محتمل من منشئ المياه الفرعي ٣.
٦	ادمج المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ١، ٢ مع هذا الخامس بمنشئ المياه الفرعي ٣.
٧	آخر المنحنى المائي المدمج بمقدار ١,٥ ساعة ليعكس التدفق إلى نهاية منشئ المياه الفرعي ٤.
٨	طور المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٤.
٩	طور المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٥.
١٠	ادمج المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ١، ٢، ٣ بتلك الخاصة بمناشئ المياه الفرعية ٤، ٥.
١١	آخر المنحنى المائي المدمج بمقدار ٣ ساعات ليعكس التدفق إلى نهاية منشئ المياه الفرعي ٦.
١٢	طور المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٦.
١٣	طور المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٧.
١٤	ادمج المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ١، ٢، ٣، ٤، ٥ بتلك الخاصة بمناشئ المياه الفرعية ٦، ٧.

الجدول رقم (٢,١٧ د). أعماق أقصى تساقط محتمل PMP في مدة ٥ – ٣٠ دقيقة.

المدة (دقيقة)	النسبة إلى قيمة ١ ساعة
٥	٠,٢٩
١٠	٠,٤٥
١٥	٠,٥٧
٣٠	٠,٧٩

المصدر: NOAA (1973).

obeikandl.com



الشكل رقم (٥,٢). تقسيم مناشئ المياه المعرضة للإعصار.

تحليل المخاطر وتقدير احتمالات السقوط أو الانهيار

Risk Analysis and Estimation of Failure Probabilities

قامت كل من جمعية المهندسين المدنيين الأمريكية (1988) وبراكش (1992b) بتقديم تحليل مستفيض للمخاطر التي تتعلق بالسدود والمباني الأخرى. وفي بعض الأحيان يكون مطلوباً من مهندس مصادر المياه القائم بتقدير احتمالية أو مدى خطورة حدوث فيضان معين أثناء فترة تصميم البناء، والذي تم تصميمه لفيضان في T سنة $(P = 1/T)$. لعمل مثل هذه التحليلات:

• احتمالية أنه على الأقل حدوث فيضان واحد على الأقل (أي واحد أو أكثر) سوف يحدث في n سنة:

$$P(\geq 1) = 1-(1-P)^n \quad (٢,٥٤)$$

• احتمالية أنه لن يحدث فيضان في n سنة:

$$P\,(\text{none}) = (1-P)^n \quad (٢,٥٥)$$

مثال رقم (٢,١٠): يتم تصميم جسر لفيضان في ١٠٠ سنة $(P = 0.01)$. ما هي احتمالية (١) عدم حدوث فيضان، (٢) حدوث الفيضان مرة واحدة أو أكثر أثناء ٢٠ إلى ١٠٠ سنة القادمة.

الحل:

• احتمالية حدوث فيضان واحد على الأقل، $P(\geq 1)$، في ٢٠ سنة:

$$1-(1-0.01)^{20} = 0.18 \quad \text{or} \quad 18\,\%$$

• احتمالية حدوث فيضان واحد على الأقل، $P(\geq 1)$، في ١٠٠ سنة:

$$1-(1-0.01)^{100} = 0.63 \quad \text{or} \quad 63\,\%$$

• احتمالية عدم حدوث فيضان، $P\,(\text{none})$، في ٢٠ سنة:

$$(1-0.01)^{20} = 0.82 \quad \text{or} \quad 82\,\%$$

• احتمالية عدم حدوث فيضان، $P(\text{none})$، في ١٠٠ سنة:

$$(1-0.01)^{100} = 0.37 \quad \text{or} \quad 37\,\%$$

من هذا يتضح أن هناك احتمالية ١٨٪ لتعلية الجسر على الأقل مرة واحدة أثناء الـ ٢٠ سنة القادمة.

openkandi.com

في حالات معينة يكون من المرغوب تقدير احتمالية عدد x من الأحداث التي تحدث في T سنة في فترة من n سنة. لعمل هذه الحسابات يمكن استخدام توزيع بويسون. وهو كما يلي، (Haan 1977):

$$p(\lambda, x) = \lambda^x e^{-\lambda} / x! \qquad (٢,٥٦)$$

حيث إن:

$x!$ = مضروب x .

$\lambda = n/T$.

$p(\lambda, x)$ = احتمالية عدد x من الأحداث التي تحدث في T سنة لكل فترة n سنة.

مثال رقم (٢,١١): يراد تقدير مخاطر الأضرار في مبنى مراقبة الفيضان لأجل موسم الفيضان الذي يمكن ألا يكون هناك وقت متاح فيه للإصلاحات. قدر احتمالية حدوث ثلاثة فيضانات خلال عشر سنوات في هذه الفترة كل ستة أشهر عندما يكون الإصلاح متعذراً.

الحل:

$$n = 0.5\ \text{yr} \quad , \quad T = 10\ \text{yr} \quad , \quad \lambda = 0.5/10 = 0.05 \quad , \quad x = 3$$

بالتالي:

$$p(0.05,3) = (0.05)^3 \exp(-0.05) / (3 \times 2 \times 1) = 2 \times 10^{-5}$$

تحليل التكلفة – الربح Benefit Cost Analysis

إن تحليلات التكلفة–الربح مطلوبة لأداء التقييم المقارن لمشروعات تحديد مصادر المياه البديلة. وهناك طريقة تقريبية موضحة في المثال التالي.

obeikandi.com

مثال رقم (٢,١٢): مشروع مراقبة الانجراف والفيضان مقترح لمجرى مائي مار خلال منطقة مدنية. قم بعمل تحليل التكلفة- الربح مبسط وحدد المستوى الأمثل للحماية من الفيضان الذي يجب تصميم المشروع على أساسه. أهمل عوامل القرار غير التكاليف والأرباح النقدية. استخدم معدل خصم يساوي ٦٪ لتحويل تكلفة رأس المال اليومية الحالية إلى قيم سنوية.

الحل:

تم إعداد التقديرات التمهيدية للمشروعات البديلة المصممة لإمداد المستويات المختلفة من الحماية باستخدام دورة حياة للمشروع تساوي ٥٠ سنة. حسابات التكلفة-الربح موضحة في الجدول رقم (٢,١٨ أ) والجدول رقم (٢,١٨ ب). تقل تكلفة التشغيل والصيانة كلما زادت حجم المشروع ويتم تعديل التكاليف الموضحة لتشمل تصاعد السعر من سنة إلى أخرى.

التكلفة السنوية = $\text{Annual cost} = Ci\ (1+i)^n / \left[(1+i)^n - 1\right]$

حيث إن:

C = تكلفة رأس المال اليومية الحالية.

i = معدل الخصم.

تقترح نسب التكلفة-الربح المقدّرة اعتماداً على التكاليف وحدها، ويمكن أن يكون من المرغوب فيه تصميم المشروع لفيضانات بفترات عودة من ٧٠- ١٠٠ سنة.

openkandil.com

الجدول رقم (١٨, ٢ أ). حساب حماية الضرر المتوقع أو الأرباح.

فترة عودة التصميم (T) (عام)	الاحتمالية (P = 1/T)	التزايدية الإجمالية أو التكرار (Δ P)	حماية الضرر (D) (مليون دولار)	حماية الضرر التزايدي المتوقع (D ΔP) مليون دولار)	حماية الضرر الكلية المتوقعة (مليون دولار)
١ ≥	١,٠٠	–	–	–	–
٢	٠,٥٠	٠,٥٠	٠,١٠	٠,٠٥	٠,٠٥
٥	٠,٢٠	٠,٣٠	٠,٢٠	٠,٠٦	٠,١١
١٠	٠,١٠	٠,١٠	٠,٣٠	٠,٠٣	٠,١٤
٢٠	٠,٠٥	٠,٠٥	٠,٤٠	٠,٠٢	٠,١٦
٢٥	٠,٠٤	٠,٠١	٠,٥٠	٠,٠٠٥	٠,١٦٥
٣٠	٠,٠٣٣	٠,٠٠٧	٠,٦٠	٠,٠٠٤٢	٠,١٦٩٢
٤٠	٠,٠٢٥	٠,٠٠٨	٠,٨٠	٠,٠٠٦٤	٠,١٧٥٦
٥٠	٠,٠٢٠	٠,٠٠٥	١,٠٠	٠,٠٠٥٠	٠,١٨٠٦
٧٠	٠,٠١٤	٠,٠٠٦	١,٥٠	٠,٠٠٩٠	٠,١٨٩٦
١٠٠	٠,٠١٠	٠,٠٠٤	١,٧	٠,٠٠٦٨	٠,١٩٦٤
١٥٠	٠,٠٠٦٧	٠,٠٠٣٣	٢,٣	٠,٠٠٧٦	٠,٢٠٤٠
٣٠٠	٠,٠٠٣٣	٠,٠٠٣٤	٣,٥	٠,٠١١٩	٠,٢١٥٩
٣٠٠<	٠ ≅	٠,٠٠٣٣	٤,٠	٠,٠١٣٢	٠,٢٢٩١

الجدول رقم (٢,١٨ ب). حساب نسبة التكلفة – الربح.

فترة عودة التصميم (T) (عام)	حماية الضرر الكلية المتوقعة (مليون دولار)	تكلفة رأس المال اليومية الحالية (مليون دولار)	التكلفة السنوية (مليون دولار)	متوسط التشغيل السنوي وتكلفة الصيانة* (مليون دولار)	التكلفة السنوية الكلية مليون دولار)	الربح/ التكلفة
≤١	–	–	–	–	–	–
٢	٠,٠٥	١,١٠٣	٠,٠٧	٠,٠٧	٠,١٤	٠,٣٦
٥	٠,١١	١,٢٦١	٠,٠٨	٠,٠٦	٠,١٤	٠,٧٩
١٠	٠,١٤	١,٥٧٦	٠,١٠	٠,٠٥	٠,١٥	٠,٩٣
٢٠	٠,١٦	١,٧٣٤	٠,١١	٠,٠٤٥	٠,١٥٥	١,٠٣
٢٥	٠,١٦٥	١,٨٩١	٠,١٢	٠,٠٤	٠,١٦٠	١,٠٣
٣٠	٠,١٦٩٢	٢,٠٤٩	٠,١٣	٠,٠٣٤	٠,١٦٤	١,٠٣
٤٠	٠,١٧٥٦	٢,١٢٨	٠,١٣٥	٠,٠٣٠	٠,١٦٥	١,٠٦
٥٠	٠,١٨٠٦	٢,٢٨٥	٠,١٤٥	٠,٠٢٥	٠,١٧٠	١,٠٦
٧٠	٠,١٨٩٦	٢,٤٤٣	٠,١٥٥	٠,٠٢٠	٠,١٧٥	١,٠٨
١٠٠	٠,١٩٦٤	٢,٥٢٢	٠,١٦٠	٠,٠١٧	٠,١٧٧	١,١١
١٥٠	٠,٢٠٤٠	٣,٤٦٨	٠,٢٠	٠,٠١٠	٠,٢١	٠,٩٧
٣٠٠	٠,٢١٥٩	٤,٧٢٩	٠,٣٠	٠,٠١٠	٠,٣١	٠,٧٠
>٣٠٠	٠,٢٢٩١	٧,٨٨١	٠,٥٠	٠,٠١٠	٠,٥١	٠,٤٥

* تشمل ارتفاع السعر من سنة إلى أخرى.

obeikandl.com

دراسات تشغيل الخزان
Reservoir Operation Studies

أن دراسات تشغيل الخزان مطلوبة لخزانات المعايرة لتلبية الاحتياجات المحددة لمصادر المياه البلديّة، والري، والتجديد، ومراقبة الفيضان، والطاقة المائيـة، وتـدفقات المجاري المائية. وهناك أنواع متعددة من التحلـيلات الهيدرولوجيـة لعمـل دراسـات تشغيل الخزان. ومن التحليلات الشائعة المتبعة تم توضيحها فيما يلي.

تكوين متتابعات تدفق المجرى المائي Generation of Stream Flow Sequences

إذا كان الهدف من الدراسة تقييم مدى كفاية مصادر المسطحات المائيـة المتاحـة على أساس يومي فإن بيانات تـدفق المجـرى المـائي اليوميـة يجـب جمعهـا أو تكوينهـا تركيبياً. ويمكن أن يكون هذا مطلوباً لأنظمة جريان النهر حيث تستخدم مياه المجرى المائي أو تحوّل اعتماداً على الكمية المتاحة في النهر عند هذه النقطة من الزمن مثل تحويل السدود ذات السعة التخزينية الـصغيرة. وبالنـسبة للخزانـات ذات التخـزين الكبـير نسبياً لتمتص التقلبات اليومية في تدفق المجرى المـائي فـإن بيانـات تـدفقات المجـرى المائي الشهرية يمكن أن تكون كافية. وإذا كانت هنـاك بيانـات متاحـة يعتمـد عليهـا فيجب استخدام هذه البيانات. ومع هذا في كثير من الحالات تكون البيانـات المتاحـة محدودة وفقط عند وقت التخطيط للخزان. وفي مثل هذه الحـالات يمكـن اسـتخدام نماذج تكوين تدفق المجرى المائي لتوسيع البيانات المتاحة وتكوين متتابعات يوميـة أو شهرية لتدفقات المجرى المائي من ٥٠ إلى ٢٠٠ سنة أو نحوه.

في بعض الحالات تكون فقط البيانات المتاحة هي الشهرية ويمكن فقط تكوين متتابعات تدفقات المجرى المائي الشهرية، بينـما تكـون بيانـات تـدفق المجـرى المـائي اليومية لازمة لعمل دراسات تشغيل الخزان. وفي مثـل هـذه الحـالات يمكـن اختبـار

بيانات تدفق المجرى المائي اليومية الخاصة بالمجاري المائية في مناشئ مياه شبيهة. ويمكن الحكم على التشابه بين مناشئ المياه عن طريق حجم مساحة الصرف، وزمن التركيز، ونمط التسرب، والنطاق المناخي، وأنماط تدفق القاعدة (أي أنماط تدفق المجرى المائي المنخفض) ...إلخ. ويمكن تقدير النسبة المئوية لتدفق المجرى المائي الشهري الذي يحدث أثناء كل يوم من الشهر في سنة متوسطة للمجرى المائي الذي تكون بيانات التدفق اليومية متاحة. وهذا التوزيع يمكن استخدامه لتحليل التدفقات الشهرية إلى قيم يومية. ولاحظ أن هذا التوزيع يكون مفيداً فقط لأجل عمل التخطيط التمهيدي ويجب تعديله بمجرد وجود بيانات متاحة ملائمة.

الطرق الحتمية Deterministic Methods

وهي تتضمن محاكاة التدفقات في الساعة أو اليومية أو الشهرية باستخدام بيانات سقوط المطر في الساعة لمنشئ المياه سوياً مع المعاملات الأخرى التي تحكم التغير المؤقت لظروف رطوبة التربة، والبخر نتح، والتسرب... إلخ. (Prakash and Dearth 1990). وبعض النماذج التي يمكن استخدامها لهذا الغرض هي نظام مراقبة النهر في هيئة الأحوال الجوية القومية (NWS 198)، وبرنامج فورتران للمحاكاة الهيدرولوجية (USEPA 1991a) (HSPF)، ونظام تشكيل التساقط - الجريان السطحي (USGS 1983) (PRMS)، وتوليد تدفق المجرى المائي وتنظيم تشغيل الخزان (USACE 1986) (SARR). ويجب دراسة كتيبات المستخدم الخاصة باستخدام هذه النماذج. ويمكن معالجة مثل هذه التحليلات على أنها دراسات خاصة.

تحليل الارتداد Regression Analysis

يعد تحليل الارتداد مفيداً في الحالات التي يكون معلوم فيها بيانات التدفق اليومية أو الشهرية المتلاقية مع المعاملات اليومية أو الشهرية الخاصة بسقوط المطر،

ومتوسط درجة حرارة الهواء، ومعاملات أخرى يمكن أن تؤثر على الجريان السطحي، لفترة قصيرة نسبياً من الزمن (٥ – ١٠ سنوات) وتكون بيانات سقوط المطر، ودرجة الحرارة، ومعاملات أخرى تتعلق بها متاحة لفترة أطول من الزمن (٢٥ – ٥٠ سنة أو أكثر). وفي هذه الحالات يمكن تحديد معادلات الارتداد باستخدام بيانات ٥ – ١٠ سنوات مع اعتبار أن تدفق المجرى المائي هو المتغير غير المستقل. ويجب مقارنة معاملات العلاقة التبادلية والأخطاء القياسية للانحسار مع المعاملات غير المتغيرة ولوغاريتهاتها ويجب استخدام معادلة الارتداد الأكثر ملائمة لتكوين بيانات تدفق المجرى المائي الإضافية، باستخدام بيانات إضافية متاحة للمتغيرات المستقلة.

مثال رقم (٢,١٣): لتقييم جدوى مشروع إمداد مياه، يجب تقدير تدفقات المجرى المائي الشهرية لفترة من ٢٤ سنة عند مجرى مائي غير معاير عند النقطة التي تكون فيها مساحة الصرف ٣٨ كم٢. مع العلم بأن بيانات سقوط المطر الشهرية فقط هي المتاحة لمنشئ المياه للفترة فوق ٢٤ سنة. وأن بيانات تدفق المجرى المائي وسقوط المطر الشهرية متاحة لمجرى مائي أخر قريب له نفس خصائص منشئ المياه لفترة من ١٣ سنة عند النقطة التي تكون فيها مساحة الصرف ٤٠,٦٦ كم٢. ومتوسط ميل حوض النهر، وخطوط العرض، ومجموعات التربة الهيدرولوجية، ومتوسط التساقط السنوي في منشئ المياه المعايرة وغير المعايرة هي ٠,٠١٣ و ٠,٠٢ م/م، ٦٨ و ١٠٠م، أ إلى ب و أ إلى ب، و ٥٠٠ و ٥٥٠ مم، على الترتيب.

الحل:

أن مساحة الصرف للمجريين المائيين مختلفتين ولكن خصائص منشئ المياه لهما متشابهة. والمنهج التقريبي التالي هو لتكوين تدفقات شهرية:

• احسب التدفقات الشهرية لكل كيلو متر مربع من مساحة الصرف للمجرى المائي المعاير.

• استنبط معادلة انحدار خطية بين التدفقات الشهرية لكل كيلو متر مربع وسقوط المطر الشهري للمجرى المائي المعاير. ولعمل المقارنة استنبط معادلة انحدار خطية ثانية بين لوغاريتمات هذين المتغيرين.

• استخدم المعادلة مع معامل العلاقة التبادلية الأعلى لتقدير التدفقات الشهرية لكل وحدة كيلو متر مربع من بيانات سقوط المطر الشهرية المعروفة للمجرى المائي الغير معاير.

بيانات التدفقات وسقوط المطر الشهرية لمنشئ المياه المعاير موضحة في الجدول رقم (٢,١٩ أ). والارتداد الخطى بين Q/A و P و $\log(P)$ يؤدى إلى:

(أ) $$Q/A = -0.00966 + 9.14 \times 10^{-3}, \qquad r^2 = 0.71$$

$$\log(Q/A) = -6.27588 + 1.732748 \log(P), \qquad r^2 = 0.85$$

أو:

(ب) $$Q/A = 0.000000530\, P^{1.732749}$$

وتقبل المعادلة الثانية لأن لها معامل ارتباط أعلى:

$$r = \sqrt{0.85} = 0.92$$

القيم المعرفة لسقوط المطر الشهري والتدفقات الشهرية المقدرة لمنشئ المياه الشهري $(A = 38\,km^2)$ باستخدام المعادلة موضحة في الجدول رقم (٢,١٩ ب).

ar.sarae4lkamal.com

الجدول رقم (٢,١٩ أ). بيانات السريان وسقوط المطر الشهرية لمناشئ المياه المقاسة.

السنة	سقوط المطر P (مم)	Log (P)	تدفق المجرى المائي Q (م³/ ث)	Q/A (م³/ ث/ كم²)	Log (Q/A)
١	٤٥,٥	١,٦٥٧٧	٠,٠٤٥٣	٠,٠٠١١	-٢,٩٥٣١
٢	٣٥١,٧	٢,٥٤٦١	٠,٥٣٧٩	٠,٠١٣٢	-١,٨٧٨٤
٣	٢٥٣,٠	٢,٤٠٣١	٠,٢٨٣١	٠,٠٠٧٠	-٢,١٥٧٢
٤	٣٢٣,٠	٢,٥٠٩١	٠,٢٦٩٠	٠,٠٠٦٦	-٢,١٧٩٥
٥	٣٩٣,٤	٢,٥٩٤٩	٠,٣٣٩٨	٠,٠٠٨٦	-٢,٠٧٨٠
٦	٩٦,١	١,٩٨٢٩	٠,٠٢٧٥	٠,٠٠٠٧	-٣,١٧٠٧
٧	١٤٧,٠	٢,١٦٧١	٠,٠٨٤٩	٠,٠٠٢١	-٢,٦٨٠١
٨	٦٨,٣	١,٨٣٤٦	٠,٠٣١١	٠,٠٠٠٨	-٣,١١٥٨
٩	٣٢٤,٥	٢,٥١١٢	٠,٧٩٢٨	٠,٠١٩٥	-١,٧١٠٠
١٠	١٠٣,٣	٢,٠١٣٩	٠,٠٣٤٠	٠,٠٠٠٨	-٣,٠٧٨٠
١١	٣١٦,٦	٢,٥٠٠٥	١,٢٤٥٨	٠,٠٣٠٦	-١,٥١٣٧
١٢	٦٢٨,٩	٢,٧٩٨٦	٢,٧١٨٠	٠,٠٦٦٨	-١,١٧٤٩
١٣	٥٢,١	١,٧١٦٦	٠,٠٢٣٥	٠,٠٠٠٦٨	-٣,٢٣٨١

A = مساحة الصرف (كم²).

obeikandl.com

الجدول رقم (٢,١٩ ب). بيانات المطر الشهرية المعروفة والتدفقات الشهرية المقدرة.

السنة	P (مم)	Q (م^٣/ ث)
١	٥,٣٣	٠,٠٠٠٤
٢	١١٥,٥٢	٠,٠٧٢١
٣	٩٦,٥٢	٠,٠٥٥٣
٤	٢٩,٢١	٠,٠٠٧٠
٥	١٩٣,٥٥	٠,١٨٤٦
٦	١٧١,٧٠	٠,١٥٠٠
٧	٢٤٤,٠٩	٠,٢٧٦٠
٨	١٥٦,٩٧	٠,١٢٨٤
٩	٧٢,٦٤	٠,٠٣٣٨
١٠	٩٤,٢٣	٠,٠٥٣٠
١١	٣٣,٧٨	٠,٠٠٩٠
١٢	٢٣٤,١٩	٠,٢٥٦٩
١٣	٨٢,٨٠	٠,٠٤٢٤
١٤	١٥٢,٤٠	٠,١٢٢٠
١٥	٢١٦,١٥	٠,٢٢٣٦
١٦	١٦,٧٦	٠,٠٠٢٧
١٧	٢٧,٤٣	٠,٠٠٦٢
١٨	٣٥,٠٥	٠,٠٠٩٦
١٩	١٨٦,٩٤	٠,١٧٣٩
٢٠	٢٨,٩٦	٠,٠٠٦٩
٢١	١٤٢,٢٤	٠,١٠٨٣
٢٢	١٢,٤٥	٠,٠٠١٦
٢٣	١٦٦,٨٨	٠,١٤٢٨
٢٤	١٢٧,٠٠	٠,٠٨٩٠

obeikandi.com

الطرق الإحصائية وطرق التسلسل العشوائي

Statistical and Stochastic Methods

وهي مفيدة للحالات التي تكون البيانات المتاحة هي فقط التدفقات اليومية أو الشهرية لفترة محدودة من الزمن (١٠ سنوات أو أكثر) مع بيانات قليلة حول التساقط المتلاقي ويمكن معالجة نموذج التسلسل العشوائي المعقد على أنه دراسة خاصة التي يمكن أن يراجعها القارئ في دراسات أخرى (مثل، Quimpo 1968; Fiering and Jackson 1971; Yevjvich 1972b, 1982). ولتكوين متتابعات طويلة من التدفقات الشهرية باستخدام بيانات التدفق الشهرية لفترة محدودة فإن نموذج (USACE 1971a) HEC-4 يعد أداة مناسبة. وهذا النموذج له مقدرة إضافية على ملء قيم التدفق للشهور التي تكون فيها بيانات التدفق غير معلومة.

تحليل مدة التدفق Flow Duration Analysis

منحنى مدة التدفق هو تمثيل بياني لتدفقات المجرى المائي (على المحور y) مقابل النسبة المئوية للأوقات التي يتساوى فيها التدفق أو يزيد (على المحور x). ومن المفيد تحديد اعتماد التدفقات اليومية أو الشهرية عند موقع محدد لتلبية حاجة محددة من المياه على أساس يومي أو شهري. ويمكن أن تكون الحسابات اليومية مطلوبة لتحويلات جريان النهر لتلبية متطلبات الطاقة المائية أو الري. ويمكن أن تكون الحسابات الشهرية مطلوبة للخزانات ذات السعة التخزينية الكبيرة وبهذا لا تكون التغيرات اليومية في تدفقات المجرى المائي ذات أهمية طالما تم الحفاظ على التدفقات الشهرية الكلية. والإجراء الحسابي لمنحنيات مدة التدفق موضح في المثال رقم (٢,١٥).

تحليل منحنى (تموّج) الكتلة Mass Curve (Rippl) Analysis

يعد تحليل منحنى الكتلة مفيداً في حساب الحجم التمهيدي للخزان المطلوب منه موافقة نمط مبسط (أي التتابع الزمني) من الحاجة للمياه.

تشمل منحنيات الكتلة منحنيان بيانيان على نفس الورقة البيانية. المنحنى الأول هو تمثيل بياني لتدفقات المجرى المائي أو الانصباب المتراكم (المحور y) مقابل الزمن (المحور x)، والثاني هو تمثيل بياني للطلب المتراكم على المحور y مقابل الزمن على المحور x. إذا كان منحنى الطلب خطاً مستقيماً (أي أن الطلب ثابت)، إذن اختار نقطة على منحنى الانصباب عند بداية أطول فترة تدفق منخفض وارسم خط مماس لمنحنى تدفق الكتلة وموازي لمنحنى الطلب بدءاً من هذه النقطة. أقصى مسافة رأسية بين هذا الخط ومنحنى الانصباب يعطى التخزين المطلوب. وفي حالات معينة يمكن أن يكون الطلب متغيراً مع الزمن. فمثلاً يمكن أن يكون الطلب على المياه منخفضاً أثناء الشهور الأولى والأخيرة من إنشاء مشروع رئيس ويمكن أن يكون كبيراً أثناء ذروة فترة الإنشاء. ويستخدم في هذه الحالة إجراءاً معدلاً بعض الشيء. والإجراء الحسابي موضح في المثال رقم (٢.١٤).

مثال رقم (٢,١٤): بيانات خمس سنوات شهرية متاحة لتدفق مجرى مائي عند موقع سد مقترح (الجدول رقم ٢,٢٠ أ). يقترح أن يلبي الخزان طلباً ثابتاً مقداره ٨ م^{3}/ ث بما فيه البخر والفواقد الأخرى. احسب حجم التخزين المحافظ المطلوب لتلبية طلباً أعلى. افترض أن حجم الخزان يجب أن يراعي أن التقلبات اليومية في تدفقات المجرى المائي لا تؤثر على قدرة الخزان على تلبية الحاجة المطلوبة. احسب أيضاً حجم التخزين المحافظ لتلبية الطلب المتغير الموضح في العمود رقم (٣) من الجدول رقم (٢,٢٠ ب).

obeikandl.com

الحل:

في حالة الطلب الثابت فإن التدفق والتدفق التراكمي والطلب التراكمي والطلب-التدفق والتدفق التراكمي-الطلب التراكمي موضحة كلها في الأعمدة من رقم (٢) إلى رقم (٦) من الجدول رقم (٢.٢٠ ج). إذن:

- حدد زوجين القمم(P) والأخاديد(T) المتعاقبة في العمود رقم (٦).
- احسب الفروق: P1 – T1 و P2 – T2 و P3 – T3 ، ...إلخ.

أعلى قيمة من هذه الفروق هو التخزين المطلوب. لاحظ أن بعض القمم والأخاديد ذات الفرق(P – T) الصغيرة نسبياً ليست موجودة في العمود رقم (٦). ونلاحظ أن أعلى فرق يكون بين P2 و T2 وقيمته ٣٩,٣٧ م³/ ث.شهر. وللتحقق من أن هذا التخزين يعد كافياً فإن التخزين وفائض الخزان موضحة في الأعمدة رقم (٧) ورقم (٨).

الحل البياني للطلب الثابت بما يساوي ٨ م³/ ث موضح في الشكل رقم (٦,٢أ) والشكل رقم (٦,٢ ب). والشكل رقم (٦,٢ أ) يشمل التمثيل البياني للتدفق والطلب التراكمي مقابل الزمن. والقمة التي تسبق أطول فترة تدفق منخفض يرمز لها بالرمز P . والمماس لمنحنى كتلة التدفق عند P المرسوم موازياً لمنحنى كتلة الطلب موضح في الشكل رقم (٦,٢ ب). وإن القاطع الرأسي الأكبر يعطى التخزين والذي يمكن قياسه بحوالي ٣٩,٣٧ م³/ ث.شهر.

التدفق، والطلب، والتدفق- الطلب، والتدفق المتراكم، والطلب المتراكم، والتدفق المتراكم- الطلب المتراكم في حالة الطلب المتغير موضحة في الأعمدة من رقم (٢) حتى رقم (٧) في الجدول رقم (٢.٢٠ ب). وكما في الحالة السابقة يتم تحديد القمم والأخاديد المتعاقبة، والفروق P1 – T1 و P2 – T2 و P3 – T3 و P4 – T4

محسوبة. أقصى فرق يكون بين P2 و T2 وقيمته ٦٤.٣٣ م٣/ ث.شهر. وهذا يعطى التخزين المطلوب. وللتحقق من أن هذا التخزين كافياً فإن تخزين وفائض الخزان أثناء كل شهر موضحة في الأعمدة رقم (٨) ورقم (٩).

الجدول رقم (٢,٢٠ أ). بيانات تدفق المجرى المائي الشهري (م٣/ ث).

السنة	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
١	٨,٧٧	٤,٩١	٥,٥٢	١١,١٣	٢٢,٤٨	١١,٥٠	٩,٥١	١٤,١٠	٢٠,١٥	٣٥,٩٢	٦,٦٥	٤,٦٠
٢	٢٤,٥٣	٩,٤٧	٣,٣٥	٤,٥٩	٣,٨٥	٤,٣٢	٩,٢٧	٧,٠٤	٣٦,٤٧	٦,٤٥	٦,١٥	٥,٢٨
٣	٥,٧٢	٥,٣٦	٣,٦١	٣,٤٧	٥,٧٨	٤,٢٨	٤,٩٠	١,٩٤	٧,٣٩	٤,٣٠	١٥,٢٦	١٨,٩٧
٤	٩,٥٥	٥,٨٣	٤,٥٠	٨,٢٢	١٦,٨٦	١٢,٢٨	١٠,٧٥	١٠,٤٦	٩,٩٢	٩,٠١	١٦,٣٩	١٦,١٦
٥	٦,١٦	٩,٤٦	٨,٣٧	٧,٢٩	١٩,٢٠	٢٣,٩٧	٢٦,٧٧	١٠,٣٨	٥,٦٧	٤,٦٩	٣,٩١	١٥,٩٥

الجدول رقم (٢,٢٠ ب). تحليل منحنى الكتلة مع الطلب المتغير.

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)	(٩)
	التدفق	الطلب	التدفق – الطلب	التدفق التراكمي	الطلب التراكمي	التدفق التراكمي – الطلب التراكمي	التخزين	الفائض
الشهر	(م٣/ ث.شهر)	(م٣/ ث.شهر)	(م٣/ ث.شهر)	(م٣/ ث.شهر)	(م٣/ ث.شهر)	(م٣/ ث.شهر)	(م٣/ ث.شهر)	(م٣/ ث.شهر)
١	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٦٤.٣٣	٠
٢	٨.٧٧	٤	٤.٧٧	٨.٧٧	٤	٤.٧٧	٦٤.٣٣	٤.٧٧
٣	٤.٩١	٥	-٠.٠٩	١٣.٦٨	٩	٤.٦٨	٤٦.٢٤	٠
٤	٥.٥٢	٦	-٠.٤٨	١٩.٢٠	١٥	٤.٢٠	٦٣.٧٦	٠
٥	١١.١٣	٧	٤.١٣	٣٠.٣٣	٢٢	٨.٣٣	٦٤.٣٣	٣.٥٦
٦	٢٢.٤٨	٧	١٥.٤٨	٥٢.٨١	٢٩	٢٣.٨١	٦٤.٣٣	١٥.٤٨
٧	١١.٥	٩	٢.٥	٦٤.٣١	٣٨	٢٦.٣١	٦٤.٣٣	٢.٥

obeikandl.com

تابع الجدول رقم (٢,٢٠ ب).

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)	(٩)
	التدفق	الطلب	التدفق - الطلب	التدفق التراكمي	الطلب التراكمي	التدفق التراكمي - الطلب التراكمي	التخزين	الفائض
الشهر	(م^3/ ث.شهر)	(م^3/ ث.شهر)	(م^3/ ث.شهر)	(م^3/ ث.شهر)	(م^3/ ث.شهر)	(م^3/ ث.شهر)	(م^3/ ث.شهر)	(م^3/ ث.شهر)
٨	٩.٥١	١٠	٠.٤٩-	٧٣.٨٢	٤٨	٢٥.٨٢	٦٣.٨٤	٠
٩	١٤.١	٨	٦.١	٨٧.٩٢	٥٦	٣١.٩٢	٦٤.٣٣	٥.٦١
١٠	٢٠.١٥	٦	١٤.١٥	١٠٨.٠٧	٦٢	٤٦.٠٧	٦٤.٣٣	١٤.١٥
١١	٣٥.٩٢	٨	٢٧.٩٢	١٤٣.٩٩	٧٠	٧٣.٩٩	٦٤.٣٣	٢٧.٩٢
١٢	٦.٦٥	٦	٠.٦٥	١٥٠.٦٤	٧٦	٧٤.٦٤	٦٤.٣٣	٠.٦٥
١٣	٤.٦	٣	١.٦	١٥٥.٢٤	٧٩	٧٦.٢٤	٦٤.٣٣	١.٦
١٤	٢٤.٥٣	٤	٢٠.٥٣	١٧٩.٧٧	٨٣	٩٦.٧٧	٦٤.٣٣	٢٠.٥٣
١٥	٩.٤٧	٥	٤.٤٧	١٨٩.٢٤	٨٨	١٠١.٢٤P1	٦٤.٣٣	٤.٤٧
١٦	٣.٣٥	٦	٢.٦٥-	١٩٢.٥٩	٩٤	٩٨.٥٩	٦١.٦٨	٠
١٧	٤.٥٩	٧	٢.٤١-	١٩٧.١٨	١٠١	٩٦.١٨	٥٩.٢٧	٠
١٨	٣.٨٥	٧	٣.١٥-	٢٠١.٠٣	١٠٨	٩٣.٠٣	٥٦.١٢	٠
١٩	٤.٣٢	٩	٤.٦٨-	٢٠٥.٣٥	١١٧	٨٨.٣٥	٥١.٤٤	٠
٢٠	٩.٢٧	١٠	٠.٧٣-	٢١٤.٦٢	١٢٧	٨٧.٦٢	٥٠.٧١	٠
٢١	٧.٠٤	٨	٠.٩٦-	٢٢١.٦٦	١٣٥	٨٦.٦٦T1	٤٩.٧٥	٠
٢٢	٣٦.٤٧	٦	٣٠.٤٧	٢٥٨.١٣	١٤١	١١٧.١٣	٦٤.٣٣	١٥.٨٩
٢٣	٦.٤٥	٨	١.٥٥-	٢٦٤.٥٨	١٤٩	١١٥.٥٨	٦٢.٧٨	٠
٢٤	٦.١٥	٦	٠.١٥	٢٧٠.٧٣	١٥٥	١١٥.٧٣	٦٢.٩٣	٠
٢٥	٥.٢٨	٣	٢.٢٨	٢٧٦.٠١	١٥٨	١١٨.٠١	٦٤.٣٣	٠.٨٨
٢٦	٥.٧٢	٤	١.٧٢	٢٨١.٧٣	١٦٢	١١٩.٧٣	٦٤.٣٣	١.٧٢
٢٧	٥.٣٦	٥	٠.٣٦	٢٨٧.٠٩	١٦٧	١٢٠.٠٩P2	٦٤.٣٣	٠.٣٦
٢٨	٣.٦١	٦	٢.٣٩-	٢٩٠.٧٠	١٧٣	١١٧.٧	٦١.٩٤	٠

obeikandl.com

تابع الجدول رقم (٢,٢٠ ب).

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)	(٩)
	التدفق	الطلب	التدفق – الطلب	التدفق التراكمي	الطلب التراكمي	التدفق التراكمي – الطلب التراكمي	التخزين	الفائض
الشهر	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)
٢٩	٣.٤٧	٧	-٣.٥٣	٢٩٤.١٧	١٨٠	١١٤.١٧	٥٨.٤١	٠
٣٠	٥.٧٨	١٤	-٨.٢٢	٢٩٩.٩٥	١٩٤	١٠٥.٩٥	٥٠.١٩	٠
٣١	٤.٢٨	١٨	-١٣.٧٢	٣٠٤.٢٣	٢١٢	٩٢.٢٣	٣٦.٤٧	٠
٣٢	٤.٩	٢٠	-١٥.١	٣٠٩.١٣	٢٣٢	٧٧.١٣	٢١.٣٧	٠
٣٣	١.٩٤	١٥	-١٣.٠٦	٣١١.٠٧	٢٤٧	٦٤.٠٧	٨.٣١	٠
٣٤	٧.٣٩	١٢	-٤.٦١	٣١٨.٤٠	٢٥٩	٥٩.٤٦	٣.٧	٠
٣٥	٤.٣	٨	-٣.٧	٣٢٢.٧٦	٢٦٧	٥٥.٧٦T2	٠	٠
٣٦	١٥.٢٦	٦	٩.٢٦	٣٣٨.٠٢	٢٧٣	٦٥.٠٢	٩.٢٦	٠
٣٧	١٨.٩٧	٣	١٥.٩٧	٣٥٦.٩٩	٢٧٦	٨٠.٩٩	٢٥.٢٣	٠
٣٨	٩.٥٥	٤	٥.٥٥	٣٦٦.٥٤	٢٨٠	٨٦.٥٤	٣٠.٧٨	٠
٣٩	٥.٨٣	٥	٠.٨٣	٣٧٢.٣٧	٢٨٥	٨٧.٣٧	٣١.٦١	٠
٤٠	٤.٥	٦	-١.٥	٣٧٦.٨٧	٢٩١	٨٥.٨٧	٣٠.١١	٠
٤١	٨.٢٢	٧	١.٢٢	٣٨٥.٠٩	٢٩٨	٨٧.٠٩	٣١.٣٣	٠
٤٢	١٦.٨٦	١٤	٢.٨٦	٤٠١.٩٥	٣١٢	٨٩.٩٥P3	٣٤.١٩	٠
٤٣	١٢.٢٨	١٨	-٥.٧٢	٤١٤.٢٣	٣٣٠	٨٤.٢٣	٢٨.٤٧	٠
٤٤	١٠.٧٥	٢٠	-٩.٢٥	٤٢٤.٩٨	٣٥٠	٧٤.٩٨	١٩.٢٢	٠
٤٥	١٠.٤٦	١٥	-٤.٥٤	٤٣٥.٤٤	٣٦٥	٧٠.٤٤	١٤.٦٨	٠
٤٦	٩.٩٢	١٢	-٢.٠٨	٤٤٥.٣٦	٣٧٧	٦٨.٣٦T3	١٢.٦٠	٠
٤٧	٩.٠١	٨	١.٠١	٤٥٤.٣٧	٣٨٥	٦٩.٣٧	١٣.٦١	٠
٤٨	١٦.٣٩	٦	١٠.٣٩	٤٧٠.٧٦	٣٩١	٧٩.٧٦	٢٤.٠	٠

obeikandi.com

تابع الجدول رقم (٢,٢٠ ب).

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)	(٩)
	التدفق	الطلب	التدفق - الطلب	التدفق التراكمي	الطلب التراكمي	التدفق التراكمي - الطلب التراكمي	التخزين	الفائض
الشهر	(م٣/ ث.شهر)	(م٣/ ث.شهر)	(م٣/ ث.شهر)	(م٣/ ث.شهر)	(م٣/ ث.شهر)	(م٣/ ث.شهر)	(م٣/ ث.شهر)	(م٣/ ث.شهر)
٤٩	١٦.١٦	٣	١٣.١٦	٤٨٦.٩٢	٣٩٤	٩٢.٩٢	٣٧.١٦	٠
٥٠	٦.١٦	٤	٢.١٦	٤٩٣.٠٨	٣٩٨	٩٥.٠٨	٣٩.٣٢	٠
٥١	٩.٤٦	٥	٤.٤٦	٥٠٢.٥٤	٤٠٣	٩٩.٥٤	٤٣.٧٨	٠
٥٢	٨.٣٧	٦	٢.٣٧	٥١٠.٩١	٤٠٩	١٠١.٩١	٤٦.١٥	٠
٥٣	٧.٢٩	٧	٠.٢٩	٥١٨.٢٠	٤١٦	١٠٢.٢	٤٦.٤٤	٠
٥٤	١٩.٢	١٤	٥.٢	٥٣٧.٤٠	٤٣٠	١٠٧.٤	٥١.٦٤	٠
٥٥	٢٣.٩٧	١٨	٥.٩٧	٥٦١.٣٧	٤٤٨	١١٣.٣٧	٥٧.٦١	٠
٥٦	٢٦.٧٧	٢٠	٦.٧٧	٥٨٨.١٤	٤٦٨	١٢٠.١٤P4	٦٤.٣٣	٠.٥
٥٧	١٠.٣٨	١٥	٤.٦٢ –	٥٩٨.٥٢	٤٨٣	١١٥.٥٢	٥٩.٧١	٠
٥٨	٥.٦٧	١٢	٦.٣٣ –	٦٠٤.١٩	٤٩٥	١٠٩.١٩	٥٣.٣٨	٠
٥٩	٤.٦٩	٨	٣.٣١ –	٦٠٨.٨٨	٥٠٣	١٠٥.٨٨	٥٠.٠٧	٠
٦٠	٣.٩١	٦	٢.٠٩ –	٦١٢.٧٩	٥٠٩	١٠٣.٧٩T4	٤٧.٩٨	٠
٦١	١٥.٩٥	٣	١٢.٩٥	٦٢٨.٧٤	٥١٢	١١٦.٧٤	٦٠.٩٣	٠

P = القمة، T = الأخدود

obeikandi.com

الجدول رقم (٢,٢٠ ج). تحليل منحنى الكتلة مع الطلب الثابت.

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)
الشهر	التدفق (م٣/ث.شهر)	التدفق التراكمي (م٣/ث.شهر)	الطلب التراكمي (م٣/ث.شهر)	التدفق – الطلب (م٣/ث.شهر)	التدفق التراكمي – الطلب التراكمي (م٣/ث.شهر)	التخزين (م٣/ث.شهر)	الفائض (م٣/ث.شهر)
١	٠	٠	٠	٠	٠	٣٩.٣٧	٠
٢	٨.٧٧	٨.٧٧	٨	٠.٧٧	٠.٧٧	٣٩.٣٧	٠.٧٧
٣	٤.٩١	١٣.٦٨	١٦	-٣.٠٩	-٢.٣٢	٣٦.٢٨	٠
٤	٥.٥٢	١٩.٢٠	٢٤	-٢.٤٨	-٤.٨٠	٣٣.٨٠	٠
٥	١١.١٣	٣٠.٣٣	٣٢	٣.١٣	-١.٦٧	٣٦.٩٣	٠
٦	٢٢.٤٨	٥٢.٨١	٤٠	١٤.٤٨	١٢.٨١	٣٩.٣٧	١٢.٠٤
٧	١١.٥	٦٤.٣١	٤٨	٣.٥٠	١٦.٣١	٣٩.٣٧	٣.٥٠
٨	٩.٥١	٧٣.٨٢	٥٦	١.٥١	١٧.٨٢	٣٩.٣٧	١.٥١
٩	١٤.١	٨٧.٩٢	٦٤	٦.١٠	٢٣.٩٢	٣٩.٣٧	٦.١٠
١٠	٢٠.١٥	١٠٨.٠٧	٧٢	١٢.١٥	٣٦.٠٧	٣٩.٣٧	١٢.١٥
١١	٣٥.٩٢	١٤٣.٩٩	٨٠	٢٧.٩٢	٦٣.٩٩	٣٩.٣٧	٢٧.٩٢
١٢	٦.٦٥	١٥٠.٦٤	٨٨	-١.٣٥	٦٢.٦٤	٣٨.٠٢	٠
١٣	٤.٦	١٥٥.٢٤	٩٦	-٣.٤٠	٥٩.٢٤	٣٤.٦٢	٠
١٤	٢٤.٥٣	١٧٩.٧٧	١٠٤	١٦.٥٣	٧٥.٧٧	٣٩.٣٧	١١.٧٨
١٥	٩.٤٧	١٨٩.٢٤	١١٢	١.٤٧	٧٧.٢٤ P1	٣٩.٣٧	١.٤٧
١٦	٣.٣٥	١٩٢.٥٩	١٢٠	-٤.٦٥	٧٢.٥٩	٣٤.٧٢	٠
١٧	٤.٥٩	١٩٧.١٨	١٢٨	-٣.٤١	٦٩.١٨	٣١.٣١	٠
١٨	٣.٨٥	٢٠١.٠٣	١٣٦	-٤.١٥	٦٥.٠٣	٢٧.١٦	٠
١٩	٤.٣٢	٢٠٥.٣٥	١٤٤	-٣.٦٨	٦١.٣٥ T1	٢٣.٤٨	٠
٢٠	٩.٢٧	٢١٤.٦٢	١٥٢	١.٢٧	٦٢.٦٢	٢٤.٧٥	٠
٢١	٧.٠٤	٢٢١.٦٦	١٦٠	-٠.٩٦	٦١.٦٦	٢٣.٧٩	٠

openkandari.com

تابع الجدول رقم (٢,٢٠ ج).

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)
	التدفق	التدفق التراكمي	الطلب التراكمي	التدفق – الطلب	التدفق التراكمي – الطلب التراكمي	التخزين	الفائض
الشهر	(م^3/ث.شهر)	(م^3/ث.شهر)	(م^3/ث.شهر)	(م^3/ث.شهر)	(م^3/ث.شهر)	(م^3/ث.شهر)	(م^3/ث.شهر)
٢٢	٣٦.٤٧	٢٥٨.١٣	١٦٨	٢٨.٤٧	٩٠.١٣ P2	٣٩.٣٧	١٢.٨٩
٢٣	٦.٤٥	٢٦٤.٥٨	١٧٦	-١.٥٥	٨٨.٥٨	٣٧.٨٢	٠
٢٤	٦.١٥	٢٧٠.٧٣	١٨٤	-١.٨٥	٨٦.٧٣	٣٥.٩٧	٠
٢٥	٥.٢٨	٢٧٦.٠١	١٩٢	-٢.٧٢	٨٤.٠١	٣٣.٢٥	٠
٢٦	٥.٧٢	٢٨١.٧٣	٢٠٠	-٢.٢٨	٨١.٧٣	٣٠.٩٧	٠
٢٧	٥.٣٦	٢٨٧.٠٩	٢٠٨	-٢.٦٤	٧٩.٠٩	٢٨.٣٣	٠
٢٨	٣.٦١	٢٩٠.٧	٢١٦	-٤.٣٩	٧٤.٧٠	٢٣.٩٤	٠
٢٩	٣.٤٧	٢٩٤.١٧	٢٢٤	-٤.٥٣	٧٠.١٧	١٩.٤١	٠
٣٠	٥.٧٨	٢٩٩.٩٥	٢٣٢	-٢.٢٢	٦٧.٩٥	١٧.١٩	٠
٣١	٤.٢٨	٣٠٤.٢٣	٢٤٠	-٣.٧٢	٦٤.٢٣	١٣.٤٧	٠
٣٢	٤.٩	٣٠٩.١٣	٢٤٨	-٣.١٠	٦١.١٣	١٠.٣٧	٠
٣٣	١.٩٤	٣١١.٠٧	٢٥٦	-٦.٠٦	٥٥.٠٧	٤.٣١	٠
٣٤	٧.٣٩	٣١٨.٤٠	٢٦٤	-٠.٦١	٥٤.٤٦	٣.٧٠	٠
٣٥	٤.٣	٣٢٢.٧٦	٢٧٢	-٣.٧٠	٥٠.٧٦ T2	٠	٠
٣٦	١٥.٢٦	٣٣٨.٠٢	٢٨٠	٧.٢٦	٥٨.٠٢	٧.٢٦	٠
٣٧	١٨.٩٧	٣٥٦.٩٩	٢٨٨	١٠.٩٧	٦٨.٩٩	١٨.٢٣	٠
٣٨	٩.٥٥	٣٦٦.٥٤	٢٩٦	١.٥٥	٧٠.٥٤	١٩.٧٨	٠
٣٩	٥.٨٣	٣٧٢.٣٧	٣٠٤	-٢.١٧	٦٨.٣٧	١٧.٦١	٠
٤٠	٤.٥	٣٧٦.٨٧	٣١٢	-٣.٥٠	٦٤.٨٧	١٤.١١	٠
٤١	٨.٢٢	٣٨٥.٠٩	٣٢٠	٠.٢٢	٦٥.٠٩	١٤.٣٣	٠
٤٢	١٦.٨٦	٤٠١.٩٥	٣٢٨	٨.٨٦	٧٣.٩٥	٢٣.١٩	٠

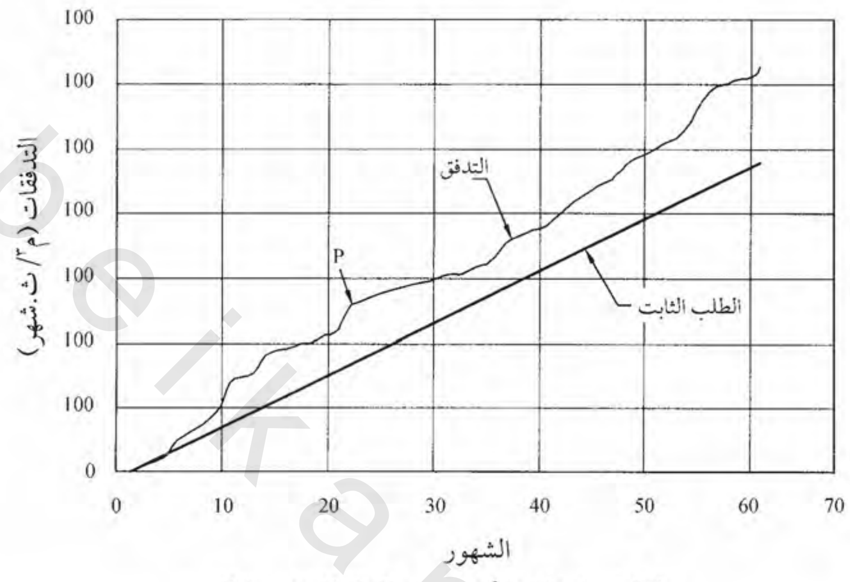
تابع الجدول رقم (٢,٢٠ ج).

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)
	التدفق	التدفق التراكمي	الطلب التراكمي	التدفق – الطلب	التدفق التراكمي – الطلب التراكمي	التخزين	الفائض
الشهر	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)
٤٣	١٢.٢٨	٤١٤.٢٣	٣٣٦	٤.٢٨	٧٨.٢٣	٢٧.٤٧	٠
٤٤	١٠.٧٥	٤٢٤.٩٨	٣٤٤	٢.٧٥	٨٠.٩٨	٣٠.٢٢	٠
٤٥	١٠.٤٦	٤٣٥.٤٤	٣٥٢	٢.٤٦	٨٣.٤٤	٣٢.٦٨	٠
٤٦	٩.٩٢	٤٤٥.٣٦	٣٦٠	١.٩٢	٨٥.٣٦	٣٤.٦٠	٠
٤٧	٩.٠١	٤٥٤.٣٧	٣٦٨	١.٠١	٨٦.٣٧	٣٥.٦١	٠
٤٨	١٦.٣٩	٤٧٠.٧٦	٣٧٦	٨.٣٩	٩٤.٧٦	٣٩.٣٧	٤.٦٣
٤٩	١٦.١٦	٤٨٦.٩٢	٣٨٤	٨.١٦	١٠٢.٩٢	٣٩.٣٧	٨.١٦
٥٠	٦.١٦	٤٩٣.٠٨	٣٩٢	١.٨٤ –	١٠١.٠٨	٣٧.٥٣	٠
٥١	٩.٤٦	٥٠٢.٥٤	٤٠٠	١.٤٦	١٠٢.٥٤	٣٨.٩٩	٠
٥٢	٨.٣٧	٥١٠.٩١	٤٠٨	٠.٣٧	١٠٢.٩١	٣٩.٣٦	٠
٥٣	٧.٢٩	٥١٨.٢	٤١٦	٠.٧١ –	١٠٢.٢٠	٣٨.٦٥	٠
٥٤	١٩.٢	٥٣٧.٤	٤٢٤	١١.٢٠	١١٣.٤٠	٣٩.٣٧	١٠.٤٨
٥٥	٢٣.٩٧	٥٦١.٣٧	٤٣٢	١٥.٩٧	١٢٩.٣٧	٣٩.٣٧	١٥.٩٧
٥٦	٢٦.٧٧	٥٨٨.١٤	٤٤٠	١٨.٧٧	١٤٨.١٤	٣٩.٣٧	١٨.٧٧
٥٧	١٠.٣٨	٥٩٨.٥٢	٤٤٨	٢.٣٨	١٥٠.٥٢P3	٣٩.٣٧	٢.٣٨
٥٨	٥.٦٧	٦٠٤.١٩	٤٥٦	٢.٣٣ –	١٤٨.١٩	٣٧.٠٤	٠
٥٩	٤.٦٩	٦٠٨.٨٨	٤٦٤	٣.٣١ –	١٤٤.٨٨	٣٣.٧٣	٠
٦٠	٣.٩١	٦١٢.٧٩	٤٧٢	٤.٠٩ –	١٤٠.٧٩T3	٢٩.٦٤	٠
٦١	١٥.٩٥	٦٢٨.٧٤	٤٨٠	٧.٩٥	١٤٨.٧٤	٣٧.٥٩	٠

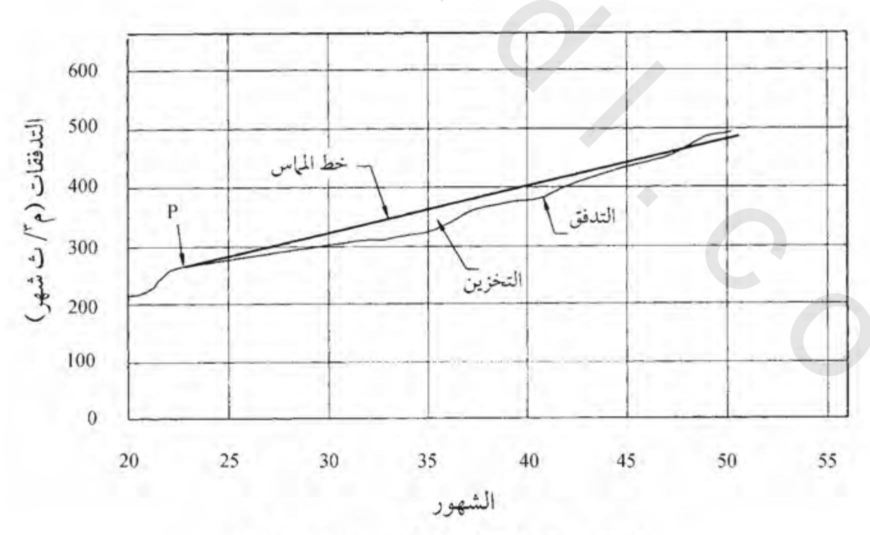
الطلب ثابت = ٨ م³/ث

P = القمة، T = الأخدود

opeikandi.com



الشكل رقم (٢.٦ أ). منحنى الكتلة للتدفق والطلب.



الشكل رقم (٢,٦ ب). تحليل منحنى الكتلة.

تقدير متوسط التدفق المنخفض لسبعة أيام في عشر سنوات

Estimation of 7 Days Average 10 Yrs Low Flow

مرات كثيرة تكون تحولات التدفق من المجاري المائية مسموحاً بها فقط إذا كانت التدفقات مساوية أو أكبر من سبعة أيام، عشر سنوات(7Q10) من التدفقات المنخفضة للمجرى المائي التي تترك في المجرى المائي لتلبية مقتضيات تدفق المجرى المائي. تدفق 7Q10 المنخفض يستخدم أيضاً لتقييم آثار تسربات منشئ المياه على جودة المياه من المجرى المائي المستقبل. يتضمن متوسط سبعة أيام متوسط كل الاتحادات المتعاقبة من سبعة أيام من التدفقات في سنة أي متوسط التدفقات من اليوم الأول إلى اليوم السابع، اليوم الثاني إلى اليوم الثامن، اليوم الثالث إلى اليوم التاسع، ...إلخ. يعرف هذا بالمتوسط المتحرك سبعة أيام. وأقل متوسط تدفق في سبعة أيام يتم حسابه لكل سنة تكون بياناتها متاحة. ويتم حساب المتوسط والانحراف القياسي ومعامل الانحراف من أقل تدفق سنوي منخفض سبعة أيام ناتج، كما هو موضح في الجزء من هذا الفصل تحت عنوان "التحليل الإحصائي للبيانات المتاحة". وباستخدام التوزيع الطبيعي أو توزيع اللوغاريتم الطبيعي أو توزيع بيرسون اللوغاريتمي من نوع٣ يتم حساب التدفق المنخفض في T سنة باستخدام المعادلة:

$$Q_T = \overline{X} - Ks \qquad (٢,٢١)$$

حيث إن K كما هي معرفة في الجزء من هذا الفصل بعنوان "التحليل الإحصائي للبيانات المتاحة". واستخدم جامبل أقصى قيمة لتوزيع نوع٣ أو التوزيع الأسي المحدد للقيم الأصغر لتحليل تدفقات المجاري المائية المنخفضة (Yevjevich 1972a, 1997). والتقديرات التحليلية لقيم K لهذا التوزيع تكون معقدة نسبياً. ولمعظم الحالات العملية يمكن تمثيل القيم بيانياً على أوراق التمثيل البياني لأقصى قيمة لتوزيع

نوع٣ وتدفقات المجاري المائية المنخفضة لفترة العودة المرغوبة التي تم الحصول عليها عن طريق الحكم.

مثال رقم (٢,١٥): بيانات تدفق المجرى المائي اليومية لسنة منخفضة التدفق في مجرى مائي معلوم موضحة في الجدول رقم (٢,٢١ أ). ومن المقترح تحويل المياه من هذا المجرى المائي لتلبية الطلب اليومي المنتظم المقدر بـ ٧,٠ م٣/ ث، وأدنى مقتضيات تدفق من المجرى المائي ١,٠ م٣/ ث. احسب اعتماد هذا المورد لتلبية الطلب على المياه الخاص بالبلديّة.

الحل:

استنبط منحنى مدة تدفق لفترة التدفق المنخفض بإتباع الخطوات الحسابية التالية:

- صنّف كل التدفقات اليومية في ترتيب تنازلي حسب المقدار.
- ضع رقم لترتيب كل قيمة يومية (أي الرتبة رقم ١ لأعلى تدفق وهكذا). وإذا حدث نفس التدفق مرتين أو أكثر، فإن كل قيمة تعطى رتبة مختلفة بالتتالي.
- اقسم رتبة كل قيمة على العدد الكلي للأيام التي تكون فيها البيانات متاحة واضرب خارج القسمة في ١٠٠ للحصول على النسبة المئوية للأوقات التي يتساوى فيها التدفق أو يتجاوز.
- قم بتمثيل التدفقات بيانياً (على المحور y) مقابل النسبة المئوية للتجاوز (على المحور x) كما هو موضح في الشكل رقم (٢,٧).

ويوضح الجدول رقم (٢,٢١ ب) التدفقات الـ٢٧ المختارة وترتيبهم والنسبة المئوية للأوقات التي يتساوى فيها كل تدفق أو يتجاوز. ويمكن ملاحظة أن اعتماد المجرى المائي لتلبية الطلب اليومي الكلي ٨ م٣/ ث هي ٦٦,٠٣٪. أي أن تدفق

المجرى المائي المتاح سوف يكون أقل من الطلب أثناء (١٠٠-٦٦,٠٣٪) ٣٣,٩٦٪ لأيام التدفق المنخفض في السنة.

الجدول رقم (٢,٢١ أ). بيانات تدفق المجرى المائي اليومية في سنة (م^٣/ ث).

اليوم	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
١	١٤,٣٩	١٨,٧٥	٢٠,٨٤	١١,٣٣	١٠,٢٧	١٧,٤٠	٥,٦٦	١٧,١٥	١١,٤٥	٧,٦٧	٧,٥٠	١٢,٩٤
٢	٣٣,٧٤	٦,٠٦	٩,٧٩	٥,٩٦	٦,٩٧	١٩,١٧	٤,٥٨	٢,٨٤	١٥,٠٨	١٧,٥٥	٥,٦٩	٨,٤٩
٣	١٠,٨٠	٢٦,٠٠	٦,٧٩	١٨,٥٠	١٣,٠٩	١٨,٣١	٧,٦٧	٢,٥٦	١٥,٢٢	٤,٦٦	٥,٠٦	١٤,١٩
٤	٨,٩٣	١٠,٨١	٥,٠٤	١٩,٠١	٧,٤٢	١١,٢٠	٢١,١٩	٨,٤٤	٢١,٩٢	٥,٣٥	١١,٩٧	١٤,٧٦
٥	٨,١٥	٩,٢٣	١٩,٠٥	١٠,١٩	٢٠,٣٦	١٠,٦٩	٧,٨٠	١٦,١٩	١٥,٨٤	٢,٦٣	١٦,٤٥	٢٥,٩٣
٦	١١,٠٦	٥,٤٧	١٢,٦١	١٥,٢٠	٢٦,٩٥	٨,١٤	٤,٨٨	٤,٢٦	٢٤,٠٧	٣,٠٠	٨,٧٧	٢٧,٠٧
٧	٦,٥٨	٨,٧٤	٢٠,٠٢	٧,٠٢	٢١,٩٩	٥,١٤	٦,٠١	٤,٦١	٢٤,٩١	٦,٤٤	٩,٧٥	٧,٧٧
٨	١٠,٩٨	٥,٤٢	١٧,٥٥	٧,٧٨	٢٥,٩١	٤,٤١	٩,٦٦	٨,٨٠	١٦,٢٢	٤,٠٣	١٢,٩١	٦,٢٨
٩	٩,٣٥	٢٨,٣٤	٣٣,٦٤	٣,٩٢	٢٠,٠٦	٣,٥٣	٨,٦٩	٨,٤٠	٢٧,٥٣	٧,٤٧	٥,٥٨	٣,٩٢
١٠	٧,٣٨	٢٥,٢٥	٢٦,٢٦	٣,٥٠	١٦,٠٤	٣,٩٢	٢٤,١٦	١١,٠٤	١٦,٨١	١٠,٣٩	٧,٧٣	٣,٤٢
١١	١٢,٧٨	٢٣,٦٨	١٦,٠٧	٤٣,٩٢	١١,٩٨	٢,٦٦	٢٠,٤٤	٩,٠٢	١٠,٥٧	٣,٣٢	٢,٨٥	٣١,٠٠
١٢	١٣,٢٦	٨,٦٤	١٣,٣١	٣١,٤٢	٢٤,٤٦	٢,٨٢	١٦,٠٥	٨,٦٦	١١,٤٥	٢٤,٢٥	٢,٦٧	١١,٠٠
١٣	١٤,٩٠	٤٧,٠٥	٧,٧٨	٦,٩٣	١٣,١٢	٤,٠١	٧,٧٢	٣١,٩٠	٧,٤٨	٢٦,٦٠	٣,٦٩	٨,٩٠
١٤	٧,٨٢	٩,٩٤	١٢,٥٧	٩,٣٨	١١,٣٨	٦,٠٠	٧,١٤	١٤,١٤	٨,٥٦	١٩,٥٦	٥,٦٦	٩,٨٥
١٥	٥,٦١	٨,٦٥	٨,١٦	٩,٢١	٩,٣٥	٩,٤١	١١,٩٧	٧,٥٥	٣,٤٥	١٧,٢٢	٣,٢٦	٦,٠٩
١٦	٤,٥٣	٧,٩٦	١٧,٥١	١٠,٥١	٧,٦٦	٢٣,٠٦	١٥,٤٤	٥,٣٣	٢,٧٦	١١,٢٥	٢٦,٠٠	٣,٣٤
١٧	٢٣,٦٢	٦,١٨	١٧,٠٩	٨,٤٧	٦,١١	٤١,٧٢	١١,٤٠	٤,٣٩	١٧,٩٠	٦,٧٠	٢١,٨٢	٨,١٦
١٨	٣٩,٣٧	٧,٦٧	٤١,٧٥	٨,٠٦	٦,٦٣	١٠,٩٧	١٠,٨١	٣,٩٨	٣٨,٤٥	٥,١٧	٢٣,٦٢	٣,٧٦
١٩	٦٦,٩٠	٧,٣٤	٤٦,٦٠	١٢,٢٥	٥,٩٥	١٢,٨١	١٩,٧٢	١٥,٢٦	٤,٩٦	٧,٢٤	٢٨,٧٧	٩,١٨
٢٠	١٣,٣٧	١٤,١٦	٩,٦٤	٤٣,٠٠	٧,٨١	١٥,٨٣	٩,٣١	٨,٣٥	٦,٩٩	٤,٢١	٢٠,٩٣	٧,٧٩
٢١	٧٣,١٠	٨,٠٠	٣١,٣٤	١٧,٤٢	٩,٨٤	١٠,٧٣	٩,٦١	١٧,٣٠	٧,٢٩	١١,٨٢	٣٢,٦٧	١٤,٧٠
٢٢	٣٥,٦٩	٨,٩١	١١,١٨	١٤,٨٣	١٤,٧٢	١٠,٢٦	١٠,٦٥	٣٣,٨٨	٥,١٢	٨,١٥	٢٦,٠٤	٢٢,١٩
٢٣	٢٧,٨٥	١١,٠٩	٥٨,١٨	١١,٢٣	١٠,٨٨	١٠,٤٠	٩,٤٧	٢٢,٦٠	٩,٦٨	٣,٦٩	١٤,٦٨	٩,٥٥

obeikandl.com

تابع الجدول رقم (٢,٢١ أ).

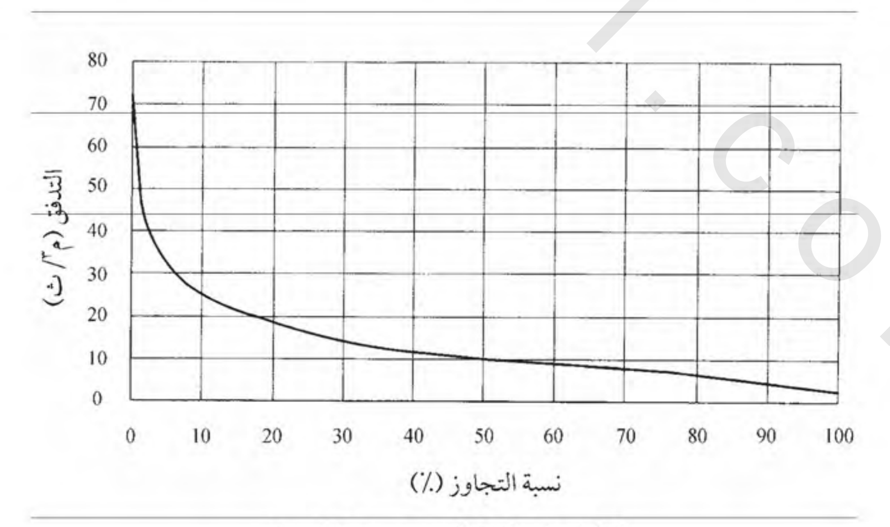
اليوم	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
٢٤	٩,٩٤	٢٣,٧١	١٣,٦٥	١٢,٠٧	١٣,١٤	٧,٥٤	٣,٣٠	١٨,٩٨	٨,٧١	٧,١٠	١١,٠٠	٢,٩٣
٢٥	٨,٥٩	١٧,٢٢	٥,٧٧	١٥,٨٩	١٥,٠٦	٧,١٢	٣,٧٣	١٩,٠٢	٧,٠٢	٦,٨٥	٩,٧٨	٧,٧٩
٢٦	٨,٨٠	٨,٠٤	٤,٧٦	٣٠,١٥	١١,٨٥	٦,٤٣	٣,٣٥	١٦,٣١	٣,٦٥	١١,٥١	١٨,٣٥	٨,١٣
٢٧	٤,٥١	١٦,٣٧	٣,٨١	١٢,٠١	١٢,٥٦	١٧,٩٨	٢,٣٨	٢٤,٠٤	٣,٧٣	١١,٧٠	٢١,٢١	٦,٢٩
٢٨	١٢,٩٠	١٠,٤٠	٤,٥٧	١٣,٣٧	١٠,٢٥	٨,٣٧	٥,٤٩	١٣,١٠	٤,١٢	٣٠,٤٨	٢٠,١٢	١٠,٩٦
٢٩	٩,١٧		٩,٤٧	١٠,٢٧	٨,٧٢	١٣,٣٠	٧,٤٧	٢٣,٦٧	٧,٦٦	١٢,٥٤	١١,٥٧	٥,٠١
٣٠	٨,٢٨		٤,٨٣	١,٩٧	٧,٠٧	٧,٠٣	٢٣,١٣	١٩,٥٥	٢٣,٤٦	٦,٠٥	٥,٥٨	٥,٥٣
٣١	١٣,٣٢		١٠,١٢		٥,٧٤		١٩,٣٥	١٣,٣٦		٧,٩٢		٨,١٠

الجدول رقم (٢,٢١ ب). جدول مدة السريان.

Q (م³/ ث)	الترتيب	نسبة التجاوز (٪)
٧٣,١٠	١	٠,٢٧
٣٣,٦٤	١٥	٤,١١
٢٦,٢٦	٣٠	٨,٢٢
٢٣,٦٧	٤٥	١٢,٣٣
٢٠,٤٤	٦٠	١٦,٤٤
١٨,٥٠	٧٥	٢٠,٥٥
١٦,٨١	٩٠	٢٤,٦٦
١٥,٢٠	١٠٥	٢٨,٧٧
١٣,٣٧	١٢٠	٣٢,٨٨
١٢,٥٧	١٣٥	٣٦,٩٩
١١,٥١	١٥٠	٤١,١٠
١٠,٩٨	١٦٥	٤٥,٢١
١٠,٢٧	١٨٠	٤٩,٥٩
٩,٦٤	١٩٥	٥٣,٤٢

تابع الجدول رقم (٢,٢١ ب).

Q (م٣/ ث)	الترتيب	نسبة التجاوز (٪)
٨,٩٣	٢١٠	٥٧,٥٣
٨,٤٩	٢٢٥	٦١,٦٤
٨,٠٤	٢٤٠	٦٥,٧٥
٨,٠٠	٢٤١	٦٦,٠٣
٧,٦٧	٢٥٥	٧٠,١٤
٧,١٤	٢٧٠	٧٣,٩٧
٦,٤٤	٢٨٥	٧٨,٠٨
٥,٦٩	٣٠٠	٨٢,١٩
٥,٠٦	٣١٥	٨٦,٣٠
٤,٢٦	٣٣٠	٩٠,٤١
٣,٦٩	٣٤٥	٩٤,٥٢
٢,٧٦	٣٦٠	٩٨,٦٣
٢,٣٨	٣٦٥	١٠٠,٠٠



الشكل رقم (٢,٧). منحنى مدة السريان.

obeikandl.com

مثال رقم (٢,١٦): استخدم بيانات تدفق المجرى المائي اليومية المذكورة في المثال رقم (٢,١٥) لتقدير متوسط سبعة أيام من التدفق المنخفض لتلك السنة. إذا كانت متوسط سبعة أيام المقدر لأقل تدفق خلال الـ ١٥ سنة الماضية لهذا المجرى المائي موضحة في الجدول رقم (٢,٢٢ أ). احسب التدفق المنخفض لسبعة أيام في عشر سنوات لهذا المجرى المائي.

الحل:

خطوات الحساب هي كما يلي:

• سجل التدفقات اليومية المعطاة في الجدول رقم (٢,٢١ أ) في أحد أعمدة ورقة العمل.

• باستخدام الدوال الإحصائية من حزم البرامج القياسية (مثل الإكسل) احسب متوسطات سبعة أيام المتحركة وأدخل العمود التالي. يعطى هذا متوسط قيم سبعة أيام ٣٥٩ لتدفقات يومية ٣٦٥. وقيم قليلة مختارة موضحة في الجدول رقم (٢,٢٢ ب).

• أوجد أدنى قيمة في القيم الـ ٣٥٩، التي وجد أنها ٣,٧٨٦ م٣/ ث وهذا هو متوسط سبعة أيام من التدفق المنخفض في السنة التي تعطى البيانات الخاصة بها في الجدول رقم (٢,٢٢ ب).

• استخدم هذه القيمة سوياً مع القيم المعطاة في الـ١٥ سنة الماضية لحساب المتوسط والانحراف القياسي ومعامل الالتواء للقيم الـ ١٦. والنتائج موضحة في الجدول رقم (٢,٢٢ ج).

باستخدام التوزيع الطبيعي كم هو مذكور في الجزء بعنوان "التحليل الإحصائي للبيانات المتاحة" في هذا الفصل ينتج:

تدفق سبعة أيام منخفض في عشر سنوات =

$$(7Q10) = 4.16 - 1.28155 \times 0.95 = 2.94 \text{ m}^3/\text{s}$$

باستخدام توزيع بيرسون اللوغاريتمي من نوع٣ وبتطبيق المعادلة رقم (٢,٢٢)

$$k = (2/0.341)\left[\left\{\left(1.28155 - (0.341/6)\right) \times (0.341/6) + 1\right\}^3 - 1\right] = 1.312$$

$$\log[7Q10] = 0.609 - (1.312 \times 0.096) = 0.483$$

$$7Q10 = 3.04 \text{ m}^3/\text{s}$$

ومن هنا يتضح أن القيمة ٣ م٣/ ث تعتبر قيمة معقولة.

الجدول رقم (٢,٢٢ أ). متوسط التدفق المنخفض السنوي لسبعة أيام.

السنة	التدفق (م٣/ ث)
١	٤,١١١
٢	٣,٢١٢
٣	٥,٣١٣
٤	٦,٠٠٥
٥	٢,٨٩١
٦	٢,٩٧٦
٧	٣,٥٠٥
٨	٣,٩٨٧
٩	٣,٨٣١
١٠	٥,٨٩٢
١١	٤,٩٠٥
١٢	٤,٣٠٣
١٣	٤,٥٥٠
١٤	٣,٥٢٥
١٥	٣,٧٦١
١٦	a

a: القيم المراد حسابها عن طريق تحليل المتوسط المتحرك لبيانات محددة.

Obeikandl.com

الجدول رقم (٢,٢٢ ب). حساب متوسط التدفق المنخفض لسبعة أيام.

التدفق اليومي (م³/ ث)	متوسط التدفق المتحرك لسبعة أيام (م³/ ث)
١٤,٣٩	
٣٣,٧٤	
١٠,٨٠	
٨,٩٣	
٨,١٥	
١١,٠٦	
٦,٥٨	١٣,٣٧٩
١٠,٩٨	١٢,٨٩١
٩,٣٥	٩,٤٠٧
–	–
–	–
–	–
٥,١٤	١٢,٨٦٤
٤,٤١	١١,٠٠٩
٣,٥٣	٨,٧٧٤
٣,٩٣	٦,٧٢٠
٢,٦٦	٥,٥٠٠
٢,٨٢	٤,٣٧٦
٤,٠١	٣,٧٨٦
٦,٠٠	٣,٩٠٩
٩,٤١	٤,٦٢٣
–	–
–	–
–	–

obeikandl.com

الجدول رقم (٢,٢٢ ج). المعاملات الإحصائية لمتوسط التدفق السنوي المنخفض لسبعة أيام.

المتغير	متوسط التدفق المنخفض غير المتحول في سبعة أيام (م³/ ث)	لوغريتم متوسط التدفق المنخفض في سبعة أيام
عدد القيم	١٦,٠٠	١٦,٠٠
المتوسط	٤,١٦	٠,٦٠٩
الانحراف القياسي	٠,٩٥	٠,٠٩٦
معامل الالتواء	٠,٧٢	٠,٣٤١

النماذج الهيدرولوجية
Hydrologic Models

مع التقدم المستمر في تكنولوجيا الحاسب الآلي أصبح هناك غزارة من النماذج الهيدرولوجية التي يمكن أن تتفاعل مع المنحنيات البيانية المتعددة والحزم البصرية مثل Surfer و CADD و GIS. وهناك عدد متاح من هذه النماذج مع الباعة المتخصصين المتعددين. مناقشة موجزة لبعض النماذج الهيدرولوجية العامة الملكية والشائعة الاستخدام كما في التالي:

نماذج تحديد وتحديد المنحنيات المائية لانسياب العاصفة
Models for Development and Routing of Storm Runoff Hydrographs

• **HEC-1، حزمة المنحنى المائي للفيضان** (USACE 1991a): هذا النموذج يحسب المنحنيات المائية للجريان السطحي لأحداث سقوط المطر وذوبان الجليد ذات الخصائص الهيدروليكية المعروفة لمنشئ المياه، وتدمج المنحنيات المائية لمناشئ المياه الفرعية عند المواقع المذكورة، ويحددها خلال الخزانات والقنوات في شبكة عمل محددة. ويمكنه أيضاً أن يؤدى تحليل تصدع سد مبسط والتحليل الاقتصادي لأضرار الفيضان.

obeikandl.com

• **HEC-HMS، نظام التشكيل الهيدرولوجي** (USACE 2002): هذا النموذج يعد تالياً لنموذج HEC-1. وهو نموذج تبادلي الفعل وله القدرات المتاحة في نموذج HEC-1. وبالإضافة إلى ذلك فإنه يشمل:

- نموذج جريان سطحي موزع للاستخدام مع بيانات تساقط موزعة مثل البيانات المتاحة من محطة الأرصاد الجوية.
- نموذج حساب رطوبة التربة المستمر المستخدم لمحاكاة الاستجابة طويلة المدى لمنشئ المياه إلى المبلل والجاف.
- حزمة معايرة آلية يمكن أن تقدر متغيرات نموذج محدد والأحوال الأولية، والملاحظات المعطاة للأحوال الهيدرولوجية في منشئ المياه.
- يرتبط بنظام إدارة قاعدة البيانات التي تسمح بتخزين البيانات، والاستعادة، والموصلة بأدوات التحليل الأخرى المتاحة من مراكز الهندسة الهيدرولوجية USACE والمصادر الأخرى.

• **TR-20، برنامج هيدرولوجيا صياغة المشروع** (USDA 1983a): هذا النموذج يؤدى بشكل عام نفس الحسابات كما في نموذج HEC-1. وله المقدرة على تحديد المنحنيات المائية للجريان السطحي وتحديدها خلال القنوات والخزانات في مناشئ المياه الصغيرة، ودمجهم أو فصلهم عند ملتقيات الأنهار. وهو مصمم لأداء تحليلات متعددة في مجرى منفرد وبذلك يمكن تقييم بدائل عديدة في مجرى واحد.

• **TR-55، الهيدرولوجيا المدنية لمناشئ المياه الصغيرة** (USDA 1986): هذا النموذج يشمل إجراءات مبسطة لحساب حجم الجريان السطحي للعاصفة، ومعدل قمة التساقط، والمنحنيات المائية، وأحجام التخزين المطلوبة لخزانات حجز الفيضان

في مناشئ المياه الصغيرة. دوال الدعم المتاحة تشمل حساب رقم المنحنى، وزمن التركيز، وزمن الانتقال خلال منشئ المياه الفرعي.

• **SWMM، نموذج إدارة مياه العاصفة** (USEPA 1989a): هذا النموذج يقوم بتحليل كل من جودة المياه والجودة المتعلقة بحدث العاصفة المنفرد أو الأنماط المناخية المستمرة طويلة المدى في مناشئ المياه المدنية أو الريفية. ويمكن أن يحاكى التدفقات خلال بالوعات العاصفة والقنوات الطبيعية، ويمكنه أداء التخزين وتحديد التدفق تحت سطح الأرض، ويحاكى حركة الجريان السطحي والملوثات من سطح الأرض إلى الهيكل المستقبل للماء خلال الأنبوب وشبكات عمل القنوات ووحدات معالجة التخزين.

وبرغم أن الاختيار من بين النماذج سالفة الذكر يجب القيام به اعتماداً على مقتضيات دراسة محددة، فيمكن أن يكون من المفيد استخدام نموذج HEC-1 أو HEC-HMS في معظم الحالات.

نماذج محاكاة السريان المستمر Continuous Flow Simulations Models

• **NWSRFS، نموذج نظام التنبؤ بالأحوال الجوية للنهر من هيئة أحوال الطقس القومية** (NWS 1998): يشمل هذا النموذج تراكم الجليد ونموذج التذرية، ونموذج حساب رطوبة التربة ونموذج سقوط المطر–الجريان السطحي، ونموذج تحديد الخزان لإنتاج منحنى مائي للتدفق المستمر باستخدام بيانات المناخ المستمر (بالساعة أو يومياً).

• **PRMS، نظام تشكيل التساقط–الجريان السطحي** (USGS 1983): وهو يحاكى التدفقات اليومية المتوسطة ويمكنه أن يكوّن منحنيات مائية بأزمنة أقل باستخدام

بيانات المناخ المستمرة. يشمل النموذج حساب رطوبة التربة وتحديد القناة وتحديد الخزان وحسابات نقل الرواسب وحسابات تدفق المياه الجوفية.

• **HSPF، برنامج المحاكاة الهيدرولوجي** (USEPA 1991a): يقوم هذا النموذج بتحليل مقياس حوض النهر للقنوات أحادية البعد بما فيها حساب رطوبة التربة والجريان السطحي والتخديد خلال القنوات ونقل الرواسب وحركة مكونات جودة المياه المتعددة باستخدام البيانات المناخية.

• **SSARR، نموذج بناء تدفق المجرى المائي وتنظيم الخزان** (USACE 1986): وهو يؤدى محاكاة الجريان السطحي على مدار السنة للتنبؤ بالفيضان وعمليات تشغيل الخزان باستخدام بيانات المناخ المستمرة. ويشمل نماذج للمنحنى المائي لمنشئ المياه وتحديد النهر والخزان وتراكم وذوبان الجليد والتسرب والصد.

هذه النماذج معقدة بعض الشيء وتتطلب وجود عدد كبير من البيانات. والدراسات التي تتضمن هذه النماذج يجب أن تعامل على أنها دراسات خاصة.

نماذج أخرى مفيدة Other Useful Models

• **HEC-4، محاكاة تدفق المجرى المائي الشهري** (USACE 1971a): يطور هذا النموذج متتابعات تدفق المجرى المائي الشهرية لعدد محدد من السنوات (٥٠ إلى ١٠٠ سنة أو أكثر) باستخدام بيانات تدفق المجرى المائي الشهرية المتاحة لعدد أقل من السنوات (١٠ إلى ١٥ سنة أو أكثر). وهو يعيد تقدير أي تدفقات مفقودة من البيانات المتاحة ويقدر الخصائص الإحصائية للبيانات المتاحة أو المعاد تقديرها، ويكوّن متتابعات من تدفقات المجرى المائي التي لها نفس الخصائص الإحصائية. هذا النموذج بسيط بعض الشيء ويقدم بيانات مفيدة لعمليات تشغيل الخزان.

• **HEC-3، تحليل نظام الخزان للمحافظة ومحاكاة HEC-5 لمراقبة الفيضان ونظم المحافظة** (USACE 1991b): تؤدى هذه النماذج حسابات تحديد التخزين لنظام الخزانات لإنتاج الطاقة المائية، ومصادر المياه، والملاحة، والتجديد، وازدياد التدفق، والاستخدامات الموسمية أو الشهرية الأخرى. في حالة نموذج HEC-3 يشمل المدخل تدفقات المجرى المائي الشهرية التي تم الحصول عليها من نماذج مثل HEC-4 أو البيانات المجموعة من المصادر الأخرى. ويمكن أن يستخدم نموذج HEC-5 أدنى فاصل زمني من دقيقة واحدة إلى شهر واحد، ويسمح أيضاً بفواصل زمنية متعددة في محاكاة منفردة. ويمكن عمل الحسابات الاقتصادية لفوائد الطاقة المائية وتقييم ضرر الفيضان.ويمكن أداء عمليات تشغيل الخزان لتقليل الفيضان عند مصب المجرى المائي، وتفريغ مخزن ضبط الفيضان بأقصى سرعة ممكنة، وإمداد مقتضيات التدفق المنخفض، وتلبية متطلبات الإمداد المائي والطاقة المائية. تعد هذه النماذج مفيدة عند التخطيط للخزان.

• **HEC-FFA، تحليل تكرار تدفق الفيضان HEC، FREQ** (USACE 1995): يقوم نموذج HEC-FFA بأداء حسابات التكرار لأقصى فيضان سنوي معطى باستخدام الخطوط الإرشادية لمجلس المصادر المائية لحساب تكرار تدفق الفيضان (USWRC 1981). ونموذج FREQ هو نموذج لتقدير تكرار فيضان لتوزيع بيرسون اللوغاريتمي من نوع٣ الذي يقوم على أساس بياني. وهو يسمح للمستخدم بحساب عوامل التكرار غير المنحازة وحدود التأكد لعمل التقديرات. وهو يسمح أيضاً بتبديل معامل الالتواء.

الفصل الثالث

التحليل الهيدروليكي
HYDRAULIC ANALYSIS

تصنيف السريان
Classification of Flows

إن موضوع الهيدروليكا يشمل دراسة حركة الماء خلال مجاري المياه سواء الطبيعية أم الصناعية ويشمل القنوات المفتوحة والأنابيب. وسريان الماء يقسم إلى عدة أنواع:

١- **السريان الحر والسريان المضغوط:** يحدث السريان الحر عندما يكون السطح العلوي للماء معرض للضغط الجوي، أما السريان المضغوط فيحدث عندما يكون سطح الماء محدودة بسطح صلب (أي أن السريان في قنوات مغلقة، البرابخ أو الكباري تحت ظروف الفيضانات).

٢- **السريان المنتظم وغير المنتظم:** يحدث السريان المنتظم عندما يكون عمق السريان ثابت عند أي مقطع عرضي من القناة وسطح الماء مواز لقاع القناة. أما السريان غير المنتظم أو المتغير يحدث عند دخول أو خروج السريان على طول القناة ويتغير عمق السريان من مقطع عرضي إلى أخر.

٣- **السريان المستقر وغير المستقر:** يحدث السريان المستقر عندما لا يتغير عمق السريان مع الزمن أما السريان غير المستقر يحدث عند تغير السريان مع الزمن. وقد يكون السريان غير المنتظم (المتغير) ذو تغير تدريجي أو تغير سريعٍ (أي يحدث قفزات

obeikandl.com

هيدروليكية). السريان المنتظم وغير المستقر لا يحدث عملياً ومن ناحية أخرى قد يكون السريان غير المستقر ذو تغير تدريجي كما يحدث في موجات الفيضان أو تغير سريع كما في المد.

٤- **السريان الطبقي والسريان الاضطرابي:** السريان الطبقي محكوم باللزوجة أما السريان الاضطرابي فهو محكوم بقوة القصور الذاتي أو الجاذبية. سواء كان السريان طبقي أو مضطرب فيمكن تحديده بواسطة رقم رينولد ورمزه R_e ويحدد من المعادلة:

$$R_e = V R/\nu \qquad (٣,١)$$

حيث إن:

V = سرعة السريان (م/ ث).

R = نصف القطر الهيدروليكي (م) = A/P .

A = مساحة مقطع السريان (م٢).

P = المحيط المبتل (م).

ν = اللزوجة الكينماتيكية (م٢/ ث).

يُعد السريان طبقي إذا كان رقم رينولد أقل من ٥٠٠ ويكون انتقاليا في الحدود من ٥٠٠ إلى ١٢٥٠٠ بينما يكون اضطرابياً إذا كان أكبر من ١٢٥٠٠ والحدود العليا قد تكون مؤثرة جداً ومعتمدة على الظروف الخاصة للسريان.

٥- **السريان تحت الحرج والحرج وفوق الحرج:** عندما يكون السريان محكوم بقوة الجاذبية فإن السريان يمكن تميزه بواسطة رقم فرود ورمزه F ويحدد من المعادلة:

$$F = V/\sqrt{g D} \qquad (٣,٢)$$

obeikandl.com

حيث إن:

g = عجلة الجاذبية الأرضية وتساوي ٩,٨١ (م/ث^2).

D = العمق الهيدروليكي (م) = A/T .

T = عرض سطح ماء السريان (م).

ويُعد السريان تحت حرج إذا كانت قيمة F أقل من الواحد الصحيح ويكون السريان حرج إذا كانت قيمة F مساوية للواحد الصحيح ويكون السريان فوق حرج إذا كانت قيمة F أكبر من الواحد الصحيح.

السريان المستقر المنتظم في القنوات المفتوحة

Steady Uniform Flow in Open Channels

السريان المنتظم في القنوات المفتوحة أو الأنابيب غير الممتلئة محكوم بالمعادلات التالية:

١- معادلة مانتق

$$V = (1/n) R^{2/3} \sqrt{S} \qquad (٣,٣)$$

٢- معادلة شيزي

$$V = C \sqrt{R S} \qquad (٣,٤)$$

٣- معادلة دارسي-ويسباك (تستخدم بصفة عامة للسريان داخل الأنابيب)

$$h = f L V^2/(2 g d) \qquad (٣,٥)$$

٤- معادلة هازن-وليم (تستخدم غالباً للسريان داخل الأنابيب)

$$V = 0.84917 C_H R^{0.63} S^{0.54} \qquad (٣,٦)$$

حيث إن:

S = ميل خط الطاقة (م/م).

obeikandl.com

L = طول الأنبوب (م).

h = فاقد الضاغط للأنبوب (م).

d = قطر الأنبوب (م) = ٤ R.

n = معاملماننق للخشونة.

C = معامل شيزي.

f = معامل الاحتكاك لدارسي–ويسباك.

C_H = معامل هازن– ويليام.

المعاملات في المعادلات من رقم (٣,٣ – ٣,٦) يمكن إيجادها من العلاقات:

$$C = R^{1/6}/n \quad \text{or} \quad n = R^{1/6}/C = R^{1/6}\sqrt{f/\sqrt{8g}} \qquad (٣,٧)$$

$$f = 8gn^2/R^2 \quad \text{or} \quad n = R^{1/6}\sqrt{f/\sqrt{8g}} \qquad (٣,٨)$$

$$C_H = 1.175562R^{0.037}/\left(n\,S^{0.04}\right) \quad \text{or} \quad n = 1.175562R^{0.037}/\left(C_H\,S^{0.04}\right) \qquad (٣,٩)$$

وفي حالة أن تكون نوع مادة قاع القناة معلومة سواء حبيبات أو مادة مبطنة فإن معامل الخشونة لماننق يمكن استنتاجه باستخدام معادلة ستريكلر (Simons and Sentruk 1976,1992) .

$$n = d_{90}^{1/6}/26 \qquad (٣,١٠)$$

حيث d_{90} هو قطر الحبيبات (م) التي تشكل ٩٠٪ من المادة، والقيم المقدرة باستخدام المعادلة رقم (٣,١٠) قد تكون صغيرة جداً في ظروف حقلية أخرى. والقيم النموذجية للظروف الحقلية المختلفة موجودة في الجدول رقم (٣,١) (Chow 1959).

الجدول رقم (٣,١). القيم النموذجية لمعامل مانتق للخشونة n.

نوع القناة	معامل مانتق للخشونة n
محفورة في الأرض نظيفة، مستقيمة ومتماثلة	٠,٠١٦ – ٠,٠٢٠
محفورة في الأرض مستقيمة ومتماثلة مع بعض الأعشاب القصيرة والحشائش	٠,٠٢٢ – ٠,٠٥٥
قناة ترابية راكدة، ملتفة بدون أي غطاء نباتي	٠,٠٢٣ – ٠,٠٣٠
قناة ترابية راكدة، ملتفة مع بعض الأعشاب القصيرة والحشائش	٠,٠٢٥ – ٠,٠٣٣
قناة من الصخور المصقولة والمتماثلة	٠,٠٢٥ – ٠,٠٤٠
قناة من الصخور الخشنة وغير منتظمة	٠,٠٣٥ – ٠,٠٥٠
قناة مهملة مع وجود حشائش مرتفعة بارتفاع عمق السريان	٠,٠٥٠ – ٠,١٢٠
قناة مهملة مع وجود أحراش حشائش مرتفعة	٠,٠٨٠ – ٠,١٤٠
القناة طبيعية نظيفة ، مع شط مستقيم، منصة كاملة ، بدون انشقاقات عميقة أو مجمعات	٠,٠٢٥ – ٠,٠٣٣
القناة طبيعية مع شط مستقيم، منصة كاملة، بدون انشقاقات عميقة أو مجمعات مع وجود بعض الحشائش والأحجار	٠,٠٣٠ – ٠,٠٤٠
قناة ملتفة طبيعياً مع وجود بعض أو مجمعات أو مياه ضحلة.	٠,٠٣٣ – ٠,٠٤٥
قناة ملتفة طبيعياً مع وجود بعض أو مجمعات أو مياه ضحلة مع منصة قصيرة، ميول وقطاعات غير مؤثرة	٠,٠٤٠ – ٠,٠٥٥
قناة ملتفة طبيعياً مع وجود بعض أو مجمعات أو مياه ضحلة مع وجود بعض الحشائش والأحجار	٠,٠٣٥ – ٠,٠٥٠
قناة ملتفة طبيعياً مع وجود بعض أو مجمعات أو مياه ضحلة مع منصة قصيرة، ميول وقطاعات حجرية غير مؤثرة	٠,٠٤٥ – ٠,٠٦٠
نهر راكد مع وجود مجمعات عميقة جداً	٠,٠٥٠ – ٠,٠٨٠
جدول مائي مع وجود حشائش كثيرة	٠,٠٧٥ – ٠,١٥٠
سهول الفيضان والمراعي بدون أغصان	٠,٠٢٥ – ٠,٠٥٠

obeikandl.com

تابع الجدول رقم (٣,١).

نوع القناة	معامل مانتق للخشونة n
سهول الفيضان مع مناطق مزروعة	٠,٠٥٠-٠,٠٢٥
سهول الفيضان مع أغصان مقطوعة	٠,١٦٠-٠,٠٣٥
سهول الفيضان مع أشجار	٠,١٦٠-٠,٠٥٠
قناة مبطنة بالخرسانة	٠,٠١٦-٠,٠١١
قناة خشنة	٠,٠٢٥-٠,٠١٦
قناة بها نباتات تبطنها	٠,٥٠-٠,٠٣٠

المصدر: Chow (1959).

تصميم القنوات غير القابلة للانجراف
Design of Nonerodible Channels

تشمل القنوات غير القابلة للانجراف القنوات المبطنة بالاسمنت، الصخور أو المدرعة. وعادة تصمم تلك القنوات عندما يكون ميل الأرض عبر طولها شديد الانحدار، أو محدودية ميول جوانب القناة، أو النحر في قاع أو جوانب القناة غير مقبول، أو القناة يجب أن تمر عبر صخور مكشوفة. إن خطوات تصميم هذا النوع من القنوات يكون بطريقة المحاولات، وخطوات الحسابات كما يلي:

١- أوجد التصرف التصميمي Q (م³/ ث) (أعلى قيمة للفيضان في القنوات المتحكم فيها، أو التصرف الأقصى لقنوات الري أو تلك المستخدمة في توليد الكهرباء).

٢- ارسم قطاع للقاع على طول القناة، وقع العلامات المطلوبة للارتفاعات بصورة معكوسة عند أعلى السريان وفي اتجاه السريان، أوجد ميل القاع الملائم للقناة لأقل كمية من الحفر. وقاع القناة يجب أن لا يكون في الموضع العالي.

٣- أحسب أقصى سرعة مسموح بها V (م/ ث) وذلك لنوع التبطين أو الدرع. للقنوات المبطنة بالاسمنت أو مبطنة بالقطع الصخرية فإن السرعة تتراوح بين ٥ - ١٥ م/ ث وتعتمد على مقاومة الانجراف للإسمنت أو الصخر، أما القنوات المبطنة بالنجيل "الحشائش" فتتراوح السرعة بين ١ - ٢,٥ م/ ث تعتمد على نوع التربة والحشائش. أما التقدير المبدئي للسرعة القصوى لنوع مادة التبطين يمكن إيجاده مستخدما الطريقة الموضحة في الجزء الخاص بالقنوات القابلة للانجراف.

٤- قدر معامل مانتق للخشونة n مستخدماً الجدول رقم (٣,١)، واحسب نصف القطر الهيدروليكي مستخدماً العلاقة

$$V = (1/n) R^{2/3} \sqrt{S} \qquad (٣,٣)$$

٥- احسب مساحة المقطع العرضي للسريان

$$A = Q/V \qquad (٣,١١)$$

٦- قدر الميول الجانبية للقناة. القيم النموذجية لها موجودة في الجدول رقم (٣,٢). أن الميول الجانبية للقنوات الطينية يجب أن تختبر بتحليل الاستقرار.

٧- افرض عمق الماء D (م) واحسب عرض القاع B (م)، وللقنوات ذات الشكل شبه المنحرف

$$A = B D + z D^2 \qquad (٣,١٢)$$

٨- احسب

$$P = \left[B + D\, 2 \sqrt{(z^2 + 1)} \right] \qquad (٣,١٣)$$

٩- احسب

$$R = A/P \qquad (٣,١٤)$$

obeikandi.com

الجدول رقم (٣,٢). الميول الجانبية المناسبة للقنوات غير القابلة للانجراف.

نوع القناة	الميول الجانبية المناسبة (z أفقي : 1 رأسي)
مبطنة بالأسمنت	الحوائط الرأسي (٠ : ١) إلى (٢ : ١) أو مستقيمة
مبطنة بالصخور المقطوعة	٠ : ١ للحدود التطبيقية للصخور
مدعمة بالحجر	١,٥ : ١ أو مستقيمة
مبطنة	ميول صخرية ١ : ١
طمي أسمنتي	٢ : ١

المصدر: Chow (1959).

إذا كانت قيمة R لا تساوي القيمة المقدرة من المعادلة في الخطوة (٤) تقريباً افرض قيمة جديدة لـ D ثم أعد الخطوات من (٧) إلى (٩)، كرر تلك الخطوات حتى تقترب القيمتان. وخطوات تصميم الأشكال الأخرى لمقاطع السريان تشبه الخطوات السابقة غير أنها تستخدم معادلات أخري لكل من A , P.

مثال رقم (٣,١): صمم قطاع لمجرى مائي مبطن بالأسمنت طوله ٢ كم حيث S تساوي ٠,٠٠٢٥ م/ م. المنبع من بناء هيكلي. والقناة المتكونة بعرض ٥٥ م تقريباً. والقناة الأمامية مبطنة ولها السعة الكافية التي تجعل التبطين لا يؤثر فيه الانجراف والفيضان عند المصب. استخدم Q تساوي ٥٠٠ م٣/ ث، السرعة المسموح بها للتبطين الأسمنتي هي ٥,٠ م/ ث و n تساوي ٠,٠١٥.

الحل:

من المعادلة رقم (٣,٣)

$$5.0 = (1/0.015) R^{2/3} \sqrt{(0.0025)}$$

obeikandi.com

فإن

$R = 1.837\ m$

$A = 500/5.0 = 100\ m^2$

وحيث إن طبقة التبطين الأسمنتية ستركب على المنحدرات الطينية فإن الميول الجانبية المناسبة هي ٢ أفقي : ١ رأسي. الحسابات بالقيم الافتراضية لـ D موجودة في الجدول رقم (٣,٣). ولتقليل احتمالات السرعة الزائدة للفيضان في مناطق معينة فإن القناة سيكون لها عرض قاع يساوى ٤٦ م وميول جانبية ٢ أفقي: ١ رأسي وعمق كلي يساوي ٢,٦٥ م، مما يوفر حافة حرة حوالي ٠,٦٥ م فوق مستوى الفيضان.

الجدول رقم (٣,٣). الأبعاد التقريبية للقناة المبطنة بالأسمنت.

قيم D المفروضة (م)	قيم B (م) من معادلة رقم (٣,١٢) $B = (A - zD^2)/D$	قيم P (م) من معادلة رقم (٣,١٣)	قيم R (م) $R = A/P$
١,٧٥	٥٣,٦٤	٦١,٤٧	١,٦٣
٢,٥٠	٣٥,٠	٤٦,١٨	٢,١٦
٢,٠	٤٦,٠	٥٤,٩٤	١,٨٢
٢,٠٢٧	٤٥,٢٨	٥٤,٣٤٥	١,٨٤
٢,٠٢٣	٤٥,٣٨٥٥	٥٤,٤٣٢٧	١,٨٣٧

تتفاوت السرعة في مقاطع السريان للقنوات المفتوحة في كل من الاتجاهين الرأسي والأفقي. وتستخدم معادلات مختلفة لتقدير السرعات عند عمق محدد للقنوات الناعمة والخشنة. وللسريان الاضطرابي، في حالة $k U_* / \nu < 5$ تعامل القنوات كقناة ناعمة، وتعامل كقناة خشنة إذا كانت $k U_* / \nu > 70$، والحالة الانتقالية

تكون عند $5 < k\,U_*/\nu < 70$ ، حيث U_* الاحتكاك أو سرعة القص (م/ ث) وتساوي $\sqrt{g\,R\,S}$ و k الارتفاع المكافئ للخشونة (م). وبالنسبة للقنوات المبطنة بالحجارة المدكوكة فإن $k = d_{65}$ ، وبالنسبة للقنوات ذات القاع المتحرك فإن k عادة تكون أكبر بكثير من d_{65} بسبب الحدود الشاذة والأشكال المختلفة للقاع، وقد تتغير القيمة من ٠.٠٠٣ إلى ٠.٠٩١ م. وفي حالة معرفة معامل شيزي C أو معامل مانتق n فيمكن حساب k من المعادلة:

$$C = R^{1/6}/n = 32.6 \log\left(12.2\,R/k\right) \tag{٣,١٥}$$

للسريان الاضطرابي في القنوات الناعمة

$$U/U_* = 5.5 + 5.75 \log\left(U_*\,y/\nu\right) = 5.75 \log\left(9\,U_*\,y/\nu\right) \tag{٣,١٦}$$

حيث إن، U = السرعة عند العمق y أعلى قاع القناة (م/ ث).

للسريان الاضطرابي في القنوات الخشنة

$$U/U_* = 8.5 + 5.75 \log\left(y/k\right) = 5.75 \log\left(30\,y/k\right) \tag{٣,١٧}$$

وفي الحالة الانتقالية بين القنوات الناعمة والخشنة فإن الثابت ٨,٥ في المعادلة رقم (٣,١٧) يتغير بتغير $k\,U_*/\nu$ (Simons and Senturk; 1976, 1992) وللسريان الطبقي في القنوات المفتوحة ذات المقطع المستطيل فإن توزيع السرعة في الاتجاه الرأسي يمكن إيجاده من (Chow 1959):

$$U = \left(\gamma\,S/\mu\right)\left(y\,D - y^2/2\right) \tag{٣,١٨}$$

حيث إن:

γ = كثافة للماء (كجم/ م٣).

D = عمق السريان (م).

μ = اللزوجة الديناميكية للماء (كجم.ث/ م٢).

ويحدث السريان الطبقي إذا كانت السرعة وعمق ماء السريان صغيرة نسبياً.

السرعات للعمق المتوسط عند المواقع المختلفة على طول المقطع العرضي للقناة يفترض أنها تتناسب مع $y^{2/3}$ حيث y هي عمق الماء (م) عند هذا الموقع. ويمكن إيجاد توزيع السرعة المفضل للعمق المتوسط على طول المقطع العرضي للقناة من HEC-RAS (USACE 1991c)، (HEC-2 USACE 1998) أو من نماذج شبيهة.

تصميم القنوات القابلة للانجراف
Design of Erodible Channels

السرعة القصوى المسموح بها Maximum Permissible Velocity

يجب اختبار قاع وجوانب القنوات القابلة للانجراف أو الترسيب تحت ظروف سريان مختلفة. واستقرار تلك القنوات مرتبط بخواص مادتي القاع والجوانب بالإضافة إلى الخواص الهيدروليكية للسريان. وهناك طريقة بسيطة وعملية لتصميم القنوات القابلة للانجراف تعتمد على السرعة القصوى المسموح بها للسريان لكل من مادتي القاع والجوانب. والقيم النموذجية لمعامل مانتق للخشونة والسرعات القصوى المسموح بها لكل أنواع الترب موضحة في الجدول رقم (٣,٤) (SCS 1954, Simons and Senturk 1976, 1992 Chow 1959).

o o e i k a n d r e . c o m

الجدول رقم (٣,٤). القيم النموذجية لمعامل مانتق للخشونة وأقصى سرعة مسموح بها.

المادة	n	أقصى سرعة مسموح بها (م/ث)		
		ماء صافي	ماء محمل بحبيبات طينية غروية	ماء محمل بحبيبات طينية غير غروية، رمل، حصى، فتافيت الصخر
رمل ناعم (غروي)	٠,٠٢	٠,٤٦	٠,٧٦	٠,٤٦
رملية جيرية (غير غروية)	٠,٠٢	٠,٥٣	٠,٧٦	٠,٦١
طينية جيرية (غير غروية)	٠,٠٢	٠,٦١	٠,٩١	٠,٦١
رواسب طينية (غير غروية)	٠,٠٢	٠,٦١	١,٠٧	٠,٦١
جيرية عادية	٠,٠٢	٠,٧٦	١,٠٧	٠,٦٩
رماد بركاني	٠,٠٢	٠,٧٦	١,٠٧	٠,٦١
حصى ناعم	٠,٠٢٥	٠,٧٦	١,٥٢	١,١٤
طينية صلبة (صمغية جداً)	٠,٠٣	١,١٤	١,٥٢	٠,٩١
حصى جيري متدرج (غير غروية)	٠,٠٢٥	١,١٤	١,٥٢	١,٥٢
رواسب طينية (غروية)	٠,٠٣٠	١,١٤	١,٥٢	٠,٩١
حصى طمي متدرج (غروي)	٠,٠٢٥	١,٢٢	١,٦٨	١,٥٢
حصى غير مصقول متدرج (غير غروية)	٠,٠٣٥	١,٢٢	١,٨٣	١,٩٨
حصى أو زلط	٠,٠٣٥	١,٥٢	١,٦٨	١,٩٨
حجر رخو	٠,٠٢٥	١,٨٣	١,٨٣	١,٥٢

المصدر: SCS (1954) ; Simons and Senturk (1976, 1992) ; Chow (1959).

الميول المناسبة للقنوات القابلة للانجراف موضحة في الجدول رقم (٣,٥) (Chow 1959).

الجدول رقم (٣,٥). الميول الجانبية المناسبة للقنوات القابلة للانجراف.

مادة القناة	الميول الجانبية (z أفقي : 1 رأسي)
طينية صلبة	٠,٥ : ١ إلى ١:١
طينية مدكوكة أو تربة تحتوي على طين وطمي ورمل	١,٥ : ١
تربة طمية، جيرية أو رملية	٢ : ١
تربة رملية جيرية، طمية مسامية، رمل دقيق	٣ : ١

المصدر: Chow (1959).

obeikandi.com

سرعة لا ترسيب ولا نفايات Nonsilting, Nonscouring Velocity

لتفادي حدوث ترسيب في القنوات (قنوات الري، الترع) فإن تصميم القنوات القابلة للانجراف أحياناً يتطلب أن تكون سرعة السريان في تلك القنوات أعلى من الحد الأدنى للسرعة المسموح بها وفيما يلي المعادلات الأكثر شيوعاً لتقدير السرعة التي لا يحدث عندها ترسيب للطمي أو النفايات:

١- معادلة كيندي لسرعة لا ترسيب ولا نفايات

$$V_o\ (m/s) = C\, D^{0.64} \qquad (٣,١٩)$$

حيث إن C تساوي ٠,٣٧ للتربة ذات الحبيبات الدقيقة جداً، ٠,٥٥ للتربة الغروية والرملية، ٠,٦٠ للتربة الرملية الخفيفة والخشنة، ٠,٦٦ للتربة الرملية والجيرية، ٠,٧١ للتربة الطمية الخشنة والصخرية (Chow 1959, Singh 1967)

٢- معادلة لاسي لتنظيم السرعة

$$V_o\ (m/s) = \left(Q\, f^2/140\right)^{1/6} \qquad (٣,٢٠)$$

حيث إن:

f = معامل لاسي للغرين = $1.76\sqrt{d}$

d = القطر المتوسط للحبيبات (مم) (Davis and Sorensen 1970 ; Zipparro and Hansen 1993)

مثال رقم (٣,٢): صمم قناة مائية طمية (غير مبطنة) للوصول للمصب كما في المثال رقم (٣,١). قاع القناة يحتوي على غرين وجير وحصى، استخدم ميول للجوانب ٢أفقي: ١رأسي.

الحل:

هذه القناة قد لا تكون آمنة في المستقبل فتنمو بها الحشائش مع الزمن ولذا نستخدم n تساوي ٠,٠٣٥. وقاع القناة الموجودة ذو ميل شديد (٠,٠٠٢٥ م/م). ولتقليل ميل قاع القناة نعطي ٤,١م لبناء مسقط عند أعلى المجرى المائي، أو ٢م لمسقط عند أعلى المجرى مع مسقط ٢,١م على بعد ١كم من أعلى المجرى في اتجاه المصب، وقد تم إيجاد هذه القيم بعد عدة محاولات باستخدام ارتفاعات مختلفة للمساقط والتي تنتج ميول للقاع لا تسمح بتعدي السرعة القصوى المسموح بها وعرض لا يكون أكبر بكثير من عرض قاع القناة.

الميل المتوسط للقاع مع المسقط يساوي:

$$(2000 \times 0.0025 - 4.1))/2000 = 0.00045\ \text{m/m}$$

وفي حالة الفيضان فإن القناة ستنقل الطمي الغير صمغي والرمل والحصى وشظايا الصخر ولذا السرعة المسموح بها من الجدول رقم (٣,٤) تساوي:

$$V = 1.52\ \text{m/s}$$

وبالتالي مساحة المقطع

$$A = 500/1.52 = 328.95\ \text{m}^2$$

oujeikandri.com

إذاً

$$1.52 = (1/0.035)\ R^{2/3}\ \sqrt{(0.00045)}$$

وبالتالي

$$R = 3.97\ m = \left(B\,D + 2\,D^2\right) \Big/ \left[B + \left\{2\,\sqrt{(5)}\ D\right\}\right]$$

وباستخدام طريقة المحاولة والخطأ فإن D تساوي ٤,٦٠٥ م و B تساوي ٦٢,٢٢٣ م لتقليل احتمال السرعة العالية للفيضان في الأماكن المحددة، فإن قاع القناة يساوي ٦٣م وبعمق كلي ٥,٢٥ م والتي تعطي حافة حرة حوالي ٠,٦٥ م فوق سطح الماء. وبوجود المسقط المائي فإن حفر القناة سيزداد ويزداد قاع القناة ومستوى الفيضان سيكون في حده الأدنى.

تحليل استقرار الرواسب (مدى احتمالية الانجراف والترسيب) مطلوب لتصميم قناة مستقرة، تقييم متطلبات الحماية من الانجراف، واحتمالية وجود الرواسب الملوثة في قاع القناة. المعادلات الأكثر استخداماً لتقييم استقرار الرواسب كالتالي:

١ - **معادلة شيلدز لإجهاد القص** (Simons and Senturk 1976, 1992): وهذه الطريقة تقارن إجهاد القص عند بدء الحركة مع إجهاد القص عند قاع القناة تبعاً للسريان في القناة.

$$\text{Shear resistance of sediments} = a\left(\gamma_s - \gamma\right)d \qquad (٣,٢١)$$

$$\text{Shear stress at canal bed due to flow} = \lambda\ R\ S \qquad (٣,٢٢)$$

حيث إن:

γ_s = كثافة مادة الترسيب (كجم/ م٣).

γ = كثافة الماء (كجم/ م٣).

d = قطر الحبيبات (مم).

R = متوسط نصف القطر الهيدروليكي (م).

S = ميل خط الطاقة (م/ م).

a = معامل وهو دالة في $U_* d/\nu$.

U_* = سرعة القص (م/ ث) = $\sqrt{gRS}$.

ν = اللزوجة الكينماتيكية (م٢/ ث).

قيم a التقريبية عند قيم مختلفة للمقدار $U_* d/\nu$ موضحة في الجدول رقم (٣,٦). ولم يتم تقدير قيم a عند $U_* d/\nu$ تساوي ٠,٢ ، وأوضحت الاتجاه العام للبيانات التجريبية أن قيمة a تزداد بنقصان قيمة $U_* d/\nu$. ولمعظم سريان القنوات المفتوحة يقترح استخدام القيمة ٠,٠٤٧ .

٢- **معادلة ماير-بيتر-مولر** (USBR 1984). إن معادلة ماير-بيتر-مولر المعدلة لنقل حمل القاع لبداية نقل حبيبة واحدة هي:

$$d = D\,S \Big/ \left[57.9 \left\{ n/\left(d_{90}^{1/6}\right) \right\}^{3/2} \right] \qquad (٣,٢٣)$$

حيث إن:

d = قطر الحبيبات الغير منقولة (م).

D = عمق الماء المتوسط (م).

n = معامل مانتق للخشونة.

d_{90} = قطر الحبيبات التي تشكل ٩٠٪ من المادة (مم).

٣- **معادلة اينشتين-ستكلير-مانتق** (Simons and Senturk 1976, 1992 ; USACE 1991d; Singh 1967) : تعتمد هذه الطريقة على معادلة مانتق لتقدير خشونة

القنوات ومعادلة ستريكلر لتقدير خشونة الحبيبـات ومعادلـة اينـشتين لبـدء الحركـة. وتبعاً لهذه المعادلة فإن قطر الحبيبات لبدء الحركة يساوي:

$$d = 18.18\ R'\ S \quad (٣,٢٤)$$

الجدول رقم (٣,٦). القيم التقريبية للمعامل a في معادلة شيلدز.

a	U * d/v
٠,٤٥	٠,٢٥
٠,٣٩	٠,٣
٠,٢٩	٠,٤
٠,٢٢	٠,٥
٠,١٩	٠,٦
٠,١٢	١,٠
٠,٠٦	٢,٠
٠,٠٤٧	٣,٠
٠,٠٤٠	٤,٠
٠,٠٣٥	٦,٠
٠,٠٣٤	٨,٠
٠,٠٣٣	١٠
٠,٠٣٤	٢٠
٠,٠٣٥	٣٠
٠,٠٣٧	٤٠
٠,٠٤٠	٦٠
٠,٠٤٥	١٠٠
٠,٠٥٢	٢٠٠
٠,٠٦٠	٥٠٠
٠,٠٦٠	٨٠٠
٠,٠٦٠	١٠٠٠

المصدر: مستنتجة من منحنيات شيلدز Shieds في ((Simons and senturk (1976)).

openeikandl.com

حيث إن R' هو نصف القطر الهيدروليكي المكافئ. والقيم التقريبية لـ R' يمكن تقديرها من معادلة (Singh 1967) :

$$R'/R = (n'/n)^{3/2} \qquad (٣,٢٥)$$

حيث إن n' هو معامل الخشونة للحبيبات من معادلة ستريكلر في حالة d_{50} بوحدات (م) (Simons and Senturk 1976,1992).

$$n' = (d_{50})^{1/6} / 25.67 \qquad (٣,٢٦)$$

وفي حالة d_{50} بوحدات (مم)

$$n' = (d_{50})^{1/6} / 81.2 \qquad (٣,٢٧)$$

حيث d_{50} هو قطر الحبيبات التي تشكل ٥٠٪ من أخف وزن لمادة قاع القناة.

٤- **معادلة كامب (ASCE 1976)**: تعتمد هذه الطريقة على معادلة إجهاد القص لبدء الحركة وإجهاد الشد عند قاع القناة ومعادلةماننق لتقدير ميل خط الطاقة. وتبعاً لتلك المعادلات فإن متوسط سرعة السريان في القناة عند بدء الحركة v_o يمكن إيجاده كالتالي:

$$v_o = (1/n)\, R^{1/6} \left[\sqrt{\{a\ (s\text{-}1)\ d\}}\right] \qquad (٣,٢٧أ)$$

$$v_o = \sqrt{\left[(8\ g/f)\ a\ (s\text{-}1)\ d\right]} \qquad (٣,٢٧ب)$$

حيث إن:

s = الكثافة النوعية لحبيبات الرسوبيات.

f = معامل الاحتكاك لدارسي-ويسباك.

d = قطر الحبيبات (م).

بالنسبة للمعامل a فإن كامب يقترح استخدام القيمة ٠,٠٤ لبدء الحركة، والقيمة ٠,٨ للحمل الشديد بغض النظر عن ميل خط الطاقة. وللميول المستوية التي تكون

عندها قيمة $U_* d/\nu$ أقل من ٠,٣، فإنه تستخدم قيم أكبر لبدء الحركة (انظر الجدول رقم (٣,٦)).

المعادلات من رقم (٣,٢١) إلى رقم (٣,٢٧) تستند على ظروف معملية محددة أو بيانات حقلية للرواسب غير الملتصقة أو على الخبرات العملية. ونتوقع للحبيبات ذات القطر أقل من ٠,٠٠٩ مم (طينية) مقاومة التماسك والتي لا تحدث في ظروف تلك المعادلات. وسيختلف تقدير حجم الحبيبات القابلة للانجراف من هذه المعادلات تحت ظروف هيدروليكية أخرى. وينصح أن يتم تقدير الانجراف المحتمل باستخدام أكثر من نموذج ويتم اختيار الحجم المناسب بالخبرة.

مثال رقم (٣,٣): قدر انجراف الرواسب من قاع قناة تحت ظروف سريان منتظم حيث R تساوي ٣,٤ م، والميل S يساوي ٠,٠٠٠٠١، ومعاملماننق للخشونة n يساوي ٠,٠٢٥، وقيم d_{50} ، d_{90} لمادة قاع القناة هي ٠,٣، ٠,٨ مم على التوالي. اعتبر أن:

$$\nu = 1.13\times10^{-6}\ m^2/s \quad , \quad \gamma = 1000\,kg/m^3 \quad , \quad \gamma_s = 2650\,kg/m^3$$

والقناة عريضة ولذا يمكن اعتبار أن R تساوي تقريباً D (متوسط عمق الماء).

الحل:

باستخدام معادلة ماننق فمتوسط سرعة السريان في القناة يساوي

$$(1/0.025)\times(3.4)^{2/3}\times\sqrt{0.00001} = 0.286\ m/s$$

وباستخدام كل من معادلة شيلدز، وماير-بيتر-مولر، واينشتين-ستركلر-ماننج، ومعادلة كامب لتقدير قطر الحبيبة الذي ينجرف عند تلك الظروف الهيدروليكية:

١- معادلة شيلدز

$$U_* = \sqrt{g\,R\,S} = \sqrt{(9.81\times3.4\times0.0001)} = 0.081\,m/s$$

وفي المحاولة الأولى لقطر ٠,٣ مم

$U_* \, d/\nu = 0.018 \times 0.3 \times 10^6/(1000 \times 1.13) = 4.78$

وباستخدام a تساوي ٠.٠٤ من الجدول رقم (٣,٦)

$$\tau\,(\text{canal bed}) = \lambda\, R\, S = 1000 \times 3.4 \times 0.00001 = 0.034\ kg/m^2$$

$$\tau\,(\text{resistance}) = a\,(\gamma_s - \gamma)\,d = 0.04 \times 1650 \times d$$

وبمساواة إجهاد القص عند القاع بمقاومة القص أي الشد نجد إن

$$d = 0.00051\ m = 0.51\ mm$$

وبقيمة d تساوي ٠,٥١ مم فإن $U_* \, d/\nu$ تساوي ٨,١٢، والقيمة المعدلة لـ a (أي ٠,٠٤) تكون محافظة.

٢- معادلة ماير-بيتر-مولر

$$d = 3.4 \times 0.00001/\left[57.9\left\{0.025/\left(0.8^{1/6}\right)\right\}^{3/2}\right] = 0.00014 m = 0.14\ mm$$

٣- معادلة اينشتين-ستركلر-ماننق

$$n' = (0.3)^{1/6}/81.2 = 0.010$$

$$R' = 3.4 \times (0.010/0.025)^{1.5} = 0.87\ m$$

$$d = 18.18 \times 0.87 \times 0.00016 = 0.00016\ m = 0.16\ mm$$

٤- معادلة كامب

$$s = (2650)/1000 = 2.65$$

$$0.286 = (1/0.025) \times (3.4)^{1/6} \times \sqrt{(0.04 \times 1.65\,d)}$$

$$d = 0.00051\ m = 0.51\ mm$$

نجد من النتائج المستنتجة سابقاً أن نتيجتين أقل من d_{50} لمادة قاع القناة والأخيرتين لها قيمة أكبر. وهذا يؤدي إلى استنتاج وجود احتمالية لتحرك الرواسب. ولاحظ أن هذه التقديرات للحركة المبدئية وليس لعملية التنظيف.

تصميم القنوات المزروعة Design of Vegetated Channels

للاعتبارات البيئية والاقتصادية كثيراً ما يكون من المستحسن للتحكم في الانجراف دراسة تبطين جوانب القنوات بزراعتها بالنباتات. والطريقة الشائعة لتصميم القنوات المزروعة تقوم على استخدام السرعة المسموح بها أو خرائط وجداول n - VR أو استخدام الجداول المحددة بواسطة هيئة الحفاظ على التربة الأمريكية لمختلف أنواع التبطين بالنباتات (SCS 2945, Chow 1959, Barfield et al 1981) . و VR هي ناتج حاصل ضرب السرعة في نصف القطر الهيدروليكي، و n معامل مانتق للخشونة. وقسمت الأعشاب كمعوقات إلى خمس فئات (أي ، أ ، ب ، ج ، د ، هـ) على أساس النوع، وارتفاع وحالة الإعشاب. والمبادئ الإرشادية لتحديد فئة الإعاقة من البطانة النباتية مدرجة في الجدولين رقمي (٣,٧ و٣,٨) (SCS 1954).

الجدول رقم (٣,٧). فئات العوائق لمختلف الأغطية النباتية.

فئة العائق	الغطاء النباتي	الظروف
أ	عشب الحب المتهدل	قاعدة ممتازة، طويل (متوسط ٧٦ سم).
	عشب بري أصفر أزرق الساق	قاعدة ممتازة، طويل (متوسط ٩١,٥ سم).
ب	نبات متسلق	نمو ذو كثافة عالية، غير مقطوعة
	عشب برمودا	طويل، يقف بصورة جيدة (متوسط ٣٠,٥ سم).
	خليط العشب الأصلي (العشب ذات الساق الزرقاء الصغيرة، الجراما الزرقاء، أعشاب الوسط الغربي الطويلة والقصيرة الأخرى)	
	أعشاب الحب المتهدلة	تقف بصورة جيدة، غير محشوشة
	ليسبيديزا سيرسا	تقف بصورة جيدة، طويل (٦١ سم)
	برسيم	تقف بصورة جيدة، طويل ، غير خشبية (٤٨ سم)
	أعشاب الحب المتهدلة	

تابع جدول رقم (٣,٧).

فئة العائق	الغطاء النباتي	الظروف
	نبات متسلق	تقف بصورة جيدة، غير مقطوعة بمتوسط (٢٨ سم)
	الجراما الزرقاء	تقف بصورة جيدة، محشوشة بمتوسط (٣٣ سم)
		نمو ذو كثافة عالية، غير مقطوعة.
		يقف بصورة جيدة، غير مقطوعة (متوسط ٣٣ سم)
ج	عشب سرطان	قائم بصورة معتدلة، غير مقطوع (٢٥,٤ إلى ١٢٢ سم).
	عشب برامودا	قائم بصورة جيدة، محشوشة (بمتوسط ١٥ سم)
	ليزبلزا الشائعة	تقف بصورة جيدة، غير مقطوعة بمتوسط (٢٨سم).
	خليط العشب والبقول الصيفية (عشب البستان، النخيل الأبيض، الزوات الايطالي، ليزبلزا الشائعة)	قاعدة ممتازة، غير مقطوع (١٥ إلى ٢٠ سم)
	عشب الحريش	غطاء كثيف جدا (متوسط ١٥ سم)
	اعشاب كنتاكي الزرقاء	قاعدة جيدة، له رؤوس (١٥ إلى ٣٠,٥ سم)
د	عشب برامودا	قائم بصورة جيدة، مقطوع لارتفاع ٦ سم
	ليزبلزا الشائعة	قائم بصورة ممتازة، غير مقطوع بمتوسط (١١,٥ سم).
	عشب الجاموس	قاعدة جيدة، غير مقطوع (٧,٥ إلى ١٥ سم)
	خليط العشب والبقول بالخريف والربيع (عشب البستان، النجيل الأبيض، الزوات الايطالي، ليزبلزا الشائعة)	قاعدة جيدة، غير مقطوع (١٠ إلى ١٣ سم)
	ليسبيديزا سيرسا	بعد القطع ارتفاعه ٥ سم، قاعدة جيدة جدا قبل القطع
هـ	عشب برمودا	قائم بصورة جيدة مقطوع لارتفاع ٣,٨ سم
	عشب برمودا	الجذامة المحروقة

المصدر: SCS (1954).

openkandil.com

الجدول رقم (٣,٨). دليل اختيار فئة العائق النباتي.

الحالة	متوسط طول العشب (سم)	فئة العائق
	٧٦<	أ
	٢٨ – ٦١	ب
قائم تماماً	١٥ – ٢٥	ج
	٥ – ١٥	د
	<٥	هـ
	٧٦<	ب
	٢٨ – ٦١	ج
قائم بصورة معتدلة	١٥ – ٢٥	د
	٥ – ١٥	د
	<٥	هـ

المصدر: SCS (1954).

والسرعات المسموح بها للأنواع المختلفة من الغطاء النباتي مبينة في الجدول رقم (٣,٩) (SCS 1954). والسرعات التي تتجاوز ١,٥٢ م/ ث ينبغي إن لا تستخدم إلا في حالة الغطاء الجيد والصيانة الجيدة للبطانة النباتية.

وقيم معامل مانتق n وناتج ضرب VR لمختلف فئات الإعاقة مبينة في الجدولين رقم (٣,١٠أ) ورقم (٣,١٠ب) (SCS 1954).

وبعد تحديد فئة الإعاقة لنوع البطانة النباتية المفضلة، خطوات حسابات التصميم كما يلي:

١ – اختر السرعة المسموح بها V، لنوع البطانة النباتية من الجدول رقم (٣,٩).

الجدول (٣,٩). السرعات المسموح بها في القنوات التي بها غطاء نباتي.

الغطاء العشبي	مدى الميل (٪)	السرعات المسموح بها (م/ث)	
		التربة المقاومة للانجراف	التربة سهلة الانجراف
عشب برمودا	٠ – ٥	٢,٤٤	١,٨٣
	٥ – ١٠	٢,١٣	١,٥٢
	>١٠	١,٨٣	١,٢٢
عشب الجاموس، اعشاب كنتاكي الزرقاء، الشويعرة الملساء ، الجرما الزرقاء	٠ – ٥	٢,١٣	١,٥٢
	٥ – ١٠	١,٨٣	١,٢٢
	>١٠	١,٥٢	٠,٩١
خليط العشب	٠ – ٥	١,٥٢	١,٢٢
	٥ – ١٠	١,٢٢	٠,٩١
	>١٠	NR	NR
ليسبيديزا سيرسا ، أعشاب الحب المتهدلة ، السيقان الزرقاء الصفراء، نبات متسلق، برسيم ، عشب متوحش	٠ – ٥	١,٠٧	٠,٧٦
	>٥	NR	NR
ليسبيديزا عادي* ، عشب السودان	٠ – ٥	١,٠٧	٠,٧٦
	>٥	NR	NR

* سنوية تستخدم على المنحدرات المتوسطة أو كحماية مؤقتة حتى يتم إنشاء الأغطية الدائمة.

NR تعني أنها ليست موصى بها.

المصدر: SCS (1954).

٢ – افترض قيمة أولية لمعامل مانتق n وأقرأ قيمة VR المقابلة من الجدول رقم (٣,١٠أ) أو رقم (٣,١٠ب).

٣ – احسب قيمة R = VR/V .

obeikandi.com

٤ - استخدم معادلة مانتق لتقدير $VR=(1/n)\ R^{5/3}\ \sqrt{S}$.

٥ - إذا كانت قيمة VR لا تساوي تقريباً القيمة المتحصل عليها من الخطوة رقم (٢) افترض قيمة آخري لـ n حتى تقترب القيمتان المقدرتان.

٦ - احسب مساحة السريان باستخدام $A=Q/V$.

٧ - حدد الميول الجانبية المقبولة z لمقطع القناة على شكل شبه منحرف وكذلك افترض عرض القاع الملائم B .

٨ - قدر عمق القناة من المعادلة $A=B\,D+z\,D^2$.

الجدول رقم (٣,١٠أ). قيم VR و n لأنواع الإعاقة المختلفة.

ناتج ضرب السرعة ونصف القطر الهيدروليكي VR (م^2/ ث)	قيمة معامل مانتق n لمختلف فئات العوائق				
	أ	ب	ج	د	هـ
٠,٠٩٣	٠,٢٩	٠,١٥	٠,٠٨٥	٠,٠٦	٠,٠٣٦
٠,١٨٦	٠,١٧٥	٠,١٠	٠,٠٥٨	٠,٠٤٦	٠,٣٠
٠,٢٧٩	٠,١٣	٠,٠٨	٠,٠٤٨	٠,٠٤٠	٠,٠٢٩
٠,٣٧٢	٠,١١	٠,٠٧	٠,٠٤٢	٠,٠٣٨	٠,٠٢٧
٠,٤٦٤	٠,٠٩٢	٠,٠٦٣	٠,٠٣٩	٠,٠٣٧	٠,٠٢٦
٠,٥٥٧	٠,٠٨٥	٠,٠٥٩	٠,٠٣٨	٠,٠٣٥	٠,٠٢٥
٠,٧٤٣	٠,٠٧٥	٠,٠٥٢	٠,٠٣٥	٠,٠٣٤	٠,٠٢٥
٠,٩٢٩	٠,٠٧	٠,٠٤٨	٠,٠٣٤	٠,٠٣٢	٠,٠٢٥
١,٨٥٨	٠,٠٦	٠,٠٤	٠,٠٣٢	٠,٠٣٠	٠,٠٢٤

المصدر: SCS (1954).

الجدول رقم (٣,١٠ ب). قيم n و VR لأنواع الإعاقة المختلفة.

obeikandl.com

معاملماننق n	ناتج ضرب السرعة في نصف القطر الهيدروليكي VR (م٢/ ث) لأنواع إعاقة مختلفة				
	أ	ب	ج	د	هـ
٠,٠٢٤	–	–	–	–	١,٨٥٨
٠,٠٣٠	–	–	–	١,٨٥٨	٠,١٩٥
٠,٠٤٠	–	١,٨٥٨	٠,٤٤٦	٠,٢٩٧	٠,٠٦٨
٠,٠٥٠	–	٠,٨٣٦	٠,٢٤٨	٠,١٤٥	٠,٠٣٦
٠,٠٦٠	١,٨٥٨	٠,٥٢٠	٠,١٧٢	٠,٠٩٢	٠,٠٢١
٠,٠٧٠	٠,٩٢٩	٠,٣٦٢	٠,١٢٨	٠,٠٦٤	٠,٠١٤
٠,٠٨٠	٠,٦٤١	٠,٢٧٩	٠,١٠٠	٠,٠٤٦	٠,٠١٠
٠,٠٩٠	٠,٥٠٢	٠,٢٢٣	٠,٠٨٤	٠,٠٣٧	–
٠,١٠	٠,٤٠٩	٠,١٨٦	٠,٠٧٢	٠,٠٣١	–
٠,١٥	٠,٢٣٢	٠,١٠٤	٠,٠٤٠	٠,٠١٥	–
٠,٢٠	٠,١٥٦	٠,٠٦٤	٠,٠٢٧	–	–
٠,٣٠	٠,٠٨٦	٠,٠٣٣	–	–	–
٠,٣٧٥	٠,٠٣٧	–	–	–	–

- توضح أن الناتج VR ليس متغيرا لهذه القيم مع n ونوع الإعاقة.

المصدر: SCS (1954).

مثال رقم (٣,٤): اوجد أبعاد القناة المحفورة في تربة قابلة للانجراف ومبطنه بعشب برمادا وسيتم الاحتفاظ بمتوسط ارتفاع له حوالي ٦سم. والتصرف في القناة ٣ م٣/ ث مع ميول ٠,٠٢ للقاع وميول جوانب ٢,٥ أفقي : ١ رأسي.

الحل:

من الجدولين رقمي (٣,٧ و٣,٨) فإن فئة الإعاقة هي د، ومن الجدول رقم (٣,٩) فإن السرعة القصوى المسموح بها للميل ٢٪ هي ١,٨٣ م/ ث.

وبفرض n كمحاولة أولى تساوي ٠,٠٣٣. ومن الجدول رقم (٣,١٠ أ) أو الجدول رقم (٣,١٠ب) فإن VR تساوي ٠,٨٣٦ م٢/ ث ولذا فإن:

$$R = 0.836/1.83 = 0.4568 \text{ m}$$

وباستخدام معادلةماننق:

$$VR = (1/n)R^{5/3}\sqrt{S} = (1/0.033)\,(0.4568)^{5/3}\,\sqrt{0.02} = 1.16$$

وبالمثل فإن المحاولات الأخرى لقيم n المختلفة تعطي القيم الموضحة أدناه:

(١)	(٢)	(٣)	(٤)
n	VR من الجدول (٣,١٠)	R	$VR = (1/n)\,R^{2/3}\,S^{1/2}$
٠,٠٣٤	٠,٧٤٣	٠,٤٠٦	٠,٩٢٦
٠,٠٣٧	٠,٤٦٤	٠,٢٥٤	٠,٣٨٨
٠,٠٣٥	٠,٥٥٧	٠,٣٠٤	٠,٥٥٦

ولقيمة n تساوي ٠,٠٣٥ نجد أن القيم من الأعمدة ٢، ٤ متقاربة ولذا نختار R تساوي ٠,٣٠٤ م.

مساحة المقطع العرضي A:

$$A = 3/1.83 = 1.64 \text{ m}^2 = B\,D + z\,D^2 \qquad (١)$$

المحيط المبلل P:

$$P = A/R = 1.64/0.304 = 5.386 = B + \left[2\sqrt{(z^2+1)}\right]D$$

$$= B + \left[2\sqrt{(2.5^2+1)}\right]D = B + 5.385\,D \qquad (٢)$$

حيث D عمق الماء، B عرض قاع القناة، وبطريقة التجربة والخطأ يمكن تقدير قيمة D التي تعطي المساحة A المطلوبة والتي تساوي ١,٦٤ م٢.

قيمة D (قيم المحاولة)	B من المعادلة (٢)	A من المعادلة (١)
٠,٣٩	٣,٢٨٦	١,٦٦٢
٠,٣٨	٣,٣٤	١,٦٣
٠,٣٨٣	٣,٣٢٣	١,٦٤

وللوصول إلى سرعة سريان في القناة أقل من تلك المسموح بها للصقل وهي ١,٨٣م/ ث وذلك للسماح بحافة حرة حوالي ٠,٣٢م، استخدم القيم B تساوي ٣,٤م و D تساوي ٠,٧ م.

السريان خلال المنعطفات

Flow Through Bends

بسبب قوي الطرد المركزية وارتفاع مستوى سطح الماء عند جوانب القناة الخارجية عنها عن الجانب الداخلي وكذلك منتصف القناة. وينتج هذا ترحيل السرعة القصوى من خط مركز القناة. والقنوات القابلة للانجراف تتطلب تدعيم الجانب الخارجي عند المنعطفات. والارتفاع في سطح المياه يمكن تقديره من المعادلة التالية (USACE 1994):

$$\Delta y = \left(C\,V^2\,B\right)/g\,r \qquad (٣,٢٨)$$

حيث إن:

Δy = الارتفاع الأعلى = الفرق في الارتفاع لسطح الماء (م) بين سطح الماء النظري عند وسط الخط وسطح الجانب الخارجي للمنحني.

V = السرعة المتوسطة للماء في القناة (م/ ث).

B = عرض سطح القناة عند مركز خط المياه (م).

obeikandl.com

r = نصف قطر المنحني في مركز خط القناة (م).

C = ٠,٥ للسريان تحت الحرج و ١,٠ للسريان الحرج وفوق الحرج.

وللحد من التدفقات الثانوية وتشويه توزيع السرعة عند المنعطفات ينبغي أن تكون r اكبر من ٣ مرات عرض القناة.

وفي بعض الحالات تصمم قنوات تصريف الفيضان في التربة القابلة للانجراف بتقوس محدد وبعيداً عن المخرج أو البناء المقترح للحد من إمكانية انتقال تربة القناة نحو البناء.

وقد تبين أن قاع القناة الرملية يميل إلى وضع نمط التعرج عندما تكون:

$$S\,Q^{1/4} \le 0.0007 \qquad (٣,٢٩)$$

والقناة نفسها قد تميل إلى وضع نمط ضفيري "ممزوج" عندما تكون:

$$S\,Q^{1/4} \ge 0.0041 \qquad (٣,٣٠)$$

والمرحلة الانتقالية تقع بين القيم المحددة في المعادلتين رقم (٣,٢٩) ورقم (٣,٣٠) (Simons and Senturk 1976, 1992).

الحافة الحرة
Freeboard

الحافة الحرة هي المسافة بين الارتفاع التصميمي لسطح المياه وأعلى جانب للقناة أو المصرف والقيم المقترحة للحافة الحرة موضحة أدناه (USACE 1994):

- القنوات ذات المقطع المستطيل: ٠,٦١ م.
- القنوات على شكل شبه المنحرف والمبطنة بالاسمنت أو الأحجار الصغيرة: ٠,٧٦ م.
- السدود الأرضية: ٠,٩١ م

opelkandi.com

شكل سطح الماء

Water Surface Profiles

تحليل السريان المستقر لتحديد مواصفات سطح المياه للقنوات ذات المقاطع العرضية والتصرفات التي تتغير من موقع إلى آخر تتم باستخدام نماذج حاسوبيه مثل: HEC2 (USACE 1991c) و HEC-RAS (USACE 1988) و WSP-2 (USDA 1976). وهذه التحليلات ضرورية لتقدير سرعة السريان وأعماق المياه عند المواقع المختلفة على طول وعبر القناة، وارتفاع اصطفاف السدود، وجسور الممرات المائية والجسور المعزولة، وتحديد سهول الفيضان ...إلخ، وتحليل سهل الفيضان يشمل حسابات شكل سطح الماء للفيضان لفترات العودة المختلفة (أي ١٠، ٢٥، ٥٠، ١٠٠، و٥٠٠ سنة الفيضانات) بوجود أو بدون التجاوزات. والتحليل الهيدروليكي مع وجود التجاوزات يوفر البيانات المطلوبة للحد من التطورات داخل الفيضانات وتشمل تحديد تخيل لنشأة الفيضان على جانبي التيار. وإن هذه الزيادة الناتجة في ارتفاع سطح المياه هي ضمن الحد الأقصى (أي ٠,٣م) أو تلك المتاحة دون عائق عرضي للسريان ولا يقل عن الحد الأدنى الموصى باستخدامه. والمقطع العرضي للسريان لهذا التجاوز المتخيل يسمى "طريق الفيضان". والخيارات لتحليل الماء العائد مع التجاوزات المختلفة مدرجة في النماذج الأنفة الذكر. وبالإضافة إلى ذلك، تشمل هذه النماذج تحليل السريان عند الجسور، المفارق الموزعة أو نقاط تشعب السريان. والمدخلات الأساسية تشمل القطاع العرضي للقناة عبر أقسام على طول القناة حتى المصب، والتصرف في مختلف القطاعات العرضية، ومعامل فاقد الاحتكاك، والتقلصات، والتوسعات، والجسور وأرصفة الدعائم. ورغم انه لا توجد قيود على عدد القطاعات العرضية المطلوبة لدراسة معينة فمن المستحسن أن يكون أقل عدد من ٦ إلى ١٠ حتى

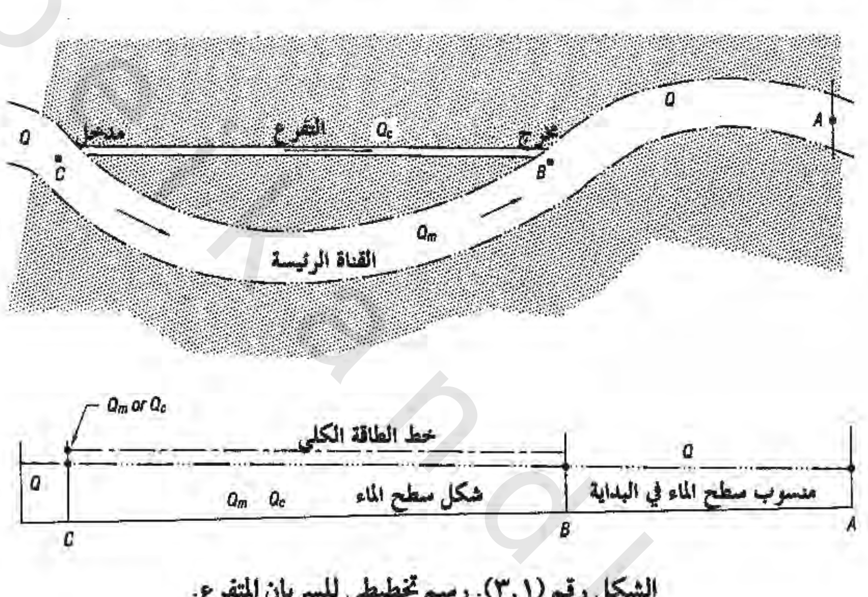
المصب. وأعداد إضافية من القطاعات العرضية تكون مطلوبة في القنوات المجاورة للأبنية (أي الجسور والمجاري المائية، المساقط، الهدارات وعند نقاط التشعب). ويجب أن يكون المقطع العرضي عمودياً على خطوط السريان المتوقعة. ولتلبية هذا الشرط، قد يكون المقطع العرضي على منحنى.

بعض مشروعات التخفيف البيئي للأنهار الكبرى (نهرى ميسوري والميسيسبي) بحاجة إلى إصلاح بيئي لسهول الفيضان بتحويل جزء صغير من تصرف الفيضانات إلى تفرعات غير مبوبة أو من خلال قنوات التسريب. وهذه التفرعات تعمل على خلق أراضي رطبة، وبرك، ومجاري مائية خلال سهول الفيضانات، أو من خلال التفرعات القديمة التي قد سدت عند شق القناة. والمياه الخارجة من تلك التفرعات تعود إلى النهر الرئيس مرة أخرى. وتحليل السريان لتفرعات هذه المشاريع تنطوي على تقدير السريان من تلك التفرعات مع الأبعاد المحددة (أي العرض وارتفاعات مداخل ومخارج فتحات التفرع، والقطاعات العرضية وميول أرضية التفرع) تحت مختلف الظروف. وهذا التحليل يمكن تحقيقه عن طريق التجربة والخطأ باستخدام نماذج هيدروليكية، مثل HEC-RAS و HEC-2 (USACE 1998, 1991c). والخطوات الحسابية لذلك كالتالي (Chow 1959):

١ - اختر التصرف Q المار في القناة الرئيسة عند فتحة مدخل المنبع.

٢ - افترض أن هذا التصرف Q ينقسم إلى عدة تصرفات Q_m (السريان عبر القناة الرئيسة) وتصرف Q_c (السريان عبر فتحة التفرع) عند المدخل، بحيث $Q = Q_m + Q_c$ (انظر الشكل رقم (٣,١)). وأن Q_m هو تصرف القناة الرئيسة خلال المنبع من مكان مدخل التفرع إلى مخرج التفرع. وعند المخرج فإن السريان Q_c يعود إلى مكانه في المجرى الرئيس ليصبح تصرف القناة Q .

٣ - احسب شكل سطح المياه للسريان Q_m خلال القناة الرئيسة من فتحة مخرج التفرع لفتحة مدخل التفرع والسريان Q يبدأ من نقطة محددة في المصب حتى مخرج التفرع. أوجد ارتفاع خط الطاقة عند مدخل ومخرج التفرع.



الشكل رقم (٣,١). رسم تخطيطي للسريان المتفرع.

٤ - احسب شكل سطح المياه للسريان Q_c خلال التفرع بدأ من حساب ارتفاع سطح الماء عند المخرج ثم أوجد ارتفاع خط الطاقة عند المدخل.

٥ - إذا كان ارتفاعي خط الطاقة عند المدخل لا تتطابقان، كرر الخطوات من رقم (٢) إلى رقم (٤) مع تعديل Q_m إلى أن تصبح القيمتان قريبتان بشكل معقول.

وفي مراحل التخطيط من الضروري إجراء عدد كبير من المحاولات الحسابية للحصول على قيم مقبولة لتحديد أبعاد التفرع ولتحديد التصرف المتحول تحت الظروف المختلفة. وعادة يكون التصرف المتدفق من خلال التفرع Q_c صغيراً

obeikandl.com

بالنسبة لإجمالي التصرف في النهر Q (اقل من ١٠ ٪)، ولهذا فإن خط الطاقة وارتفاع سطح الماء خلال القناة الرئيسة مع تصرف Q_s لن يختلف كثيراً عن تلك الحالة لإجمالي التصرف Q_m . وفي هذه الحالة الخطوات الحسابية البسيطة كالتالي:

١- احسب ارتفاع سطح الماء والارتفاعات في خط الطاقة عند مدخل القناة الرئيسة لمختلف ظروف السريان Q .

٢- لكل حالة من حالات السريان افترض عدة قيم للسريان المتحول للتفرع وقم بحساب شكل سطح الماء للتفرع عند هذه القيم Q_c بادئاً بحساب ارتفاع سطح الماء عند المخرج (الخطوة رقم (١)).

٣- اختر التصرف المتحول Q_c والذي يؤدي إلى ارتفاع خط الطاقة عند المنبع، وهو يساوي تقريباً ما حسب في الخطوة رقم (١).

مثال رقم (٣,٥): تفرع مائي على شكل شبه منحرف عرض القاع له ٣٠,٥ م، والميول الجانبية ٣ أفقي:١ رأسي، وميل القاع ٠,٠٠٢١، والمنسوب العكسي ٢٤٥,٦٣ م المطلوب لتحويل السريان من النهر الرئيس بتصرف متوسط سنوي ١٠٦٠ م³/ ث. ومنسوب خط الطاقة في النهر عند مدخل التفرع عند ظروف التصرف المتوسط السنوي هو ٢٤٦,٣٢ م. افترض أن التصرف المتحول بواسطة التفرع أقل من متوسط التصرف السنوي. استخدم n تساوي ٠,٠٣٥.

الحل:

حيث إن التفرع له قطاع عرضي وميل قاع ثابتين استخدم معادلة माننق لتقدير خط الطاقة عند مدخل التفرع.

بطريقة التجربة والخطأ واستخدام قيم عديدة لـ Q_c نجد أن:

$$y = 0.685\,m \quad , \quad A = 22.30\,m^2 \quad , \quad P = 34.83\,m$$

$R = 0.6402\ m \quad , \quad V = 0.3075\ m/s \quad , \quad Q_c = 6.857\ m^3/s$

أي أن التصرف للتفرع ٦,٨٥٧ م٣/ ث.

ومنسوب ميل خط الطاقة عند مدخل التفرع يساوي

$245.63 + 0.685 + (0.3075^2)/2g = 246.32\ m$

وهو يساوى المنسوب المعطى لخط الطاقة عند المنبع لظروف التصرف المتوسط السنوي ولذا التصرف المتحول بواسطة المنحدر هو ٦,٨٥٧ م٣/ ث.

السريان الحرج
Critical Flow

يعرف السريان الحرج بأنه السريان عند أقل طاقة نوعية. الطاقة النوعية E (م) عند مقطع السريان يمكن حسابها من المعادلة:

$$E = y + V^2/2g \qquad (٣,٣١)$$

حيث إن:

y = عمق السريان (م).

V = السرعة (م/ ث).

للقنوات ذات المقطع المستطيل:

$$E = y + q^2/(2g\,y^2) \qquad (٣,٣٢)$$

حيث إن:

q = التصرف لكل وحدة عرض من القناة (م٢/ ث).

وللحصول على القيمة الدنيا للطاقة النوعية نضع dE/dy = 0 وهذا ينتج:

$$y_c = (q^2/g)^{1/3} \qquad (٣,٣٣)$$

$$E\ (minimum) = 3/2\ (y_c) \qquad (٣,٣٤)$$

obeikandi.com

$$V_c = \sqrt{(g\, y_c)} \quad (٣,٣٥)$$

حيث إن:

y_c = العمق الحرج (م).

V_c = السرعة عند السريان الحرج (م/ ث).

للسريان الحرج، رقم فرود يساوي الواحد الصحيح $F = V/\sqrt{(g\, y)} = 1$. وعندما تكون $F \succ 1$ يكون السريان فوق الحرج ، أما عندما تكون $F \prec 1$ يكون السريان تحت الحرج.

وللقنوات الشائعة وعند تصرف معلوم Q (م³/ ث) فإن:

$$E = y + Q^2/(2g\, A^2) \quad (٣,٣٦)$$

وللحصول على القيمة الدنيا للطاقة النوعية اجعل $dE/dy = 0$ وهذا ينتج

$$Q^2/g = A^3/T \quad (٣,٣٧)$$

أو

$$V^2/2g = D/2 \quad (٣,٣٨)$$

حيث إن:

$T = dA/dy$ = العرض العلوي (م).

D = العمق الهيدروليكي = A/T .

ويمكن استخدام المعادلة رقم (٣,٣٧) لاستنتاج معادلات أخرى خاصة بالتصرف الحرج لمختلف أشكال مقاطع القنوات، وكمثال لذلك للقنوات ذات المقطع المستطيل:

$$Q_c = B\sqrt{(g\, y^3)} \quad (٣,٣٩)$$

وللمقطع المثلث الشكل:

obeikandl.com

$$Q_c = z\,y^{2.5}\,\sqrt{(g/2)} \qquad (٣,٤٠)$$

وللمقطع على شكل شبه منحرف :

$$Q_c = \left(B\,y + z\,y^2\right)^{1.5}\,\sqrt{\{g/(B + 2\,z\,y)\}} \qquad (٣,٤١)$$

وللمقطع على شكل القطع المكافئ:

$$Q_c = T\,\sqrt{\left\{(8/27)\,g\,y^3\right\}} \qquad (٣,٤٢)$$

حيث إن:

z = ميل الجوانب.

B = عرض القاع.

قد يشكل قطاع السريان الحرج قطاعاً حاكماً لكل من السريان فوق الحرج والسريان تحت الحرج. والقطاع الحاكم هو ذلك القطاع حيث تكون هناك علاقة محددة وواضحة بين المرحلة والتصرف. وهذا القطاع يتحكم في السريان بطريقة تجعل ظروف السريان في جانب واحد (أي إما المنبع أو المصب) لا يتأثر بالجانب الآخر. وفي حالة السريان تحت الحرج يكون التحكم في السريان عند نهاية المصب، وفي حالة السريان فوق الحرج يكون التحكم في السريان عند المنبع.

هيدروليكا الهدارات والمفايض

Hydraulics of Weirs and Spillways

الهدارات ذات المصطبة العريضة وذات المصطبة الحادة

Broad-Crested and Sharp-Crested Weirs

تصنف الهدارات على أنها ذات مصطبة عريضة إذا كانت مصطبة الهدار عريضة بما يكفي لمنع حدوث دوامة حرة عند ركن الهدار (Rouse 1950). ويعتبر الهدار أنه ذو مصطبة عريضة إذا كان الضاغط فوق المصطبة H أقل من 1.5 B حيث B هو عرض

مصطبة الهدار المواجهة لاتجاه السريان. أما إذا كانت $H \succ 1.5\,B$ فإن الدوامة تتكون وتنفصل فيسلك الهدار مسلك الهدار ذو المصطبة الحادة.

وإذا كانت حافة الهدار ذو المصطبة العريضة المواجهة للسريان مدورة جيداً لتقليل أثر الانكماش وإذا كان الاحتكاك عبر طول عرضه مقداراً مهملاً أو كانت الحافة مائلة للتغلب على فاقد الضاغط نتيجة الاحتكاك هنا يكون التصرف عند العمق الحرج y_c. وفي حالة السقوط الحر فإن y_c تحدث عند $3\,y_c$ إلى $4\,y_c$ من الحافة العلوية لمصطبة الهدار، و $y_c = 1.4\,y_b$ حيث y_b هو عمق الماء عند الحافة. وعند المقطع الحرج يكون

$$y_c = \left(q^2/g\right)^{1/3} \qquad (٣,٣٣)$$

$$H = y_c + V_c^{\,2}/2g = y_c + \left(q/y_c\right)^2/2g = y_c + y_c/2 = 3/2\,y_c = 2.098\,y_b \qquad (٣,٤٣)$$

$$q = \left[\sqrt{(8\,g/27)}\right] H^{3/2} \qquad (٣,٤٤)$$

ولهذا فالهدار ذو الحافة العريضة يكون التصرف الأقصى النظري له يمكن إيجاده:

$$Q = 1.70\,L\,H^{3/2} = 5.17\,L\,y_b^{\,3/2} \qquad (٣,٤٥)$$

الضاغط H يجب أن يقاس على بعد $2.5\,H$ خلف حرف المصطبة العريضة للسريان وأعلاها، لمعظم الحالات العملية فإن معامل الهدار 1.70 ينبغي تقليله للتغلب على فاقد الاحتكاك على المصطبة. وقد وجد أن هذا المعامل يختلف باختلاف الضاغط H وعرض مصطبة الهدار (Brater *et al.* 1966). ولا يتأثر السريان أعلى الهدار ذو المصطبة العريضة بالغمر بشكل ملحوظ إذا كان $(2/3\,H + P) \prec y_T$، حيث y_T عمق الماء الخلفي، P ارتفاع الهدار فوق قاع القناة.

تصرف الهدار ذو المصطبة الحادة يعطى بالمعادلة:

$$Q = 2/3\;C_d\;L\left[\sqrt{(2g)}\right] H^{3/2} = C\,L\,H^{3/2} \qquad (٣,٤٦)$$

معامل الهدار C يتغير من 1.76 إلى 2.54 مع وجود نسبة H/P عند نهاية الانكماش نتيجة للحواف الحادة عند نهايات الهدار. ولا يتأثر السريان أعلى الهدار ذو المصطبة الحادة بالغمر بشكل ملحوظ إذا كان $y_T \prec (0.25\,H + P)$، أما الغمر الأكبر:

$$Q_1/Q = \left[1 - (H_1/H)^{3/2}\right]^{0.385} \qquad (٣,٤٧)$$

حيث إن:

Q_1 = التصرف في وجود الغمر.

H_1 = عمق الماء الخلفي أعلى حافة مصطبة الهدار.

المصطبة مستدقة الرأس (العقَدية) Ogee Crest

إذا كانت الدوامات السفلية أو العلوية للماء فوق الهدار ذو المصطبة الحادة مشبعاً بالهواء (كل من الدوامتين عند الضغط الجوي) فإن معامل التصرف يمكن إيجاده من المعادلة التالية (Chow 1959).

$$C = 1.805 + 0.221\,H/P \qquad (٣,٤٨)$$

وفي حالة عدم تشبع الدوامة السفلية وهي حالة غير مرغوب فيها في الأداء الهيدروليكي والضغوط السالبة في الاتجاه السفلي للمصب. ولتقليل الضغوط السالبة فقد وضعت الأشكال العقدية ليتطابق مع شكل الدوامة السفلية كلما أمكن تطبيقه:

$$X^n = K\,H_d^{\,n-1}\,Y \qquad (٣,٤٩)$$

حيث إن:

X و Y المحوريين السيني والصادي للشكل بنقطة أصل عند أعلى نقطة في المصطبة.

H_d = الضاغط التصميمي ويشمل ضاغط السرعة نتيجة للسريان.

K و n موضحة في الجدول رقم (٣,١١).

obeikandl.com

الجدول رقم (٣,١١). المعاملات والأسس لمعادلة المصطبة ذات الشكل العقدي.

الميل في الاتجاه العلوي للقناة	K^a	n^a	K^b	n^b
رأسي	٢,٠٠٠	١,٨٧٢	٢,١٤١	١,٨٣٧
١ أفقي: ٣ رأسي	٢,٠٠٠	١,٨٥١	٢,١٤١	١,٨١٧
٢ أفقي: ٣ رأسي	١,٩٠١	١,٨٠٢	٢,٠٥٨	١,٧٧٢
١ أفقي: ١ رأسي	١,٨٥٢	١,٧٨٠	٢,٠٥٨	١,٧٦١

المصدر: USBR (1987).

a : السرعة مهملة لضاغط الاقتراب.

b : سرعة ضاغط الاقتراب تساوي $0.20\,H_d$.

واستناداً إلى اختبار النماذج وضعت أشكال هندسيه لتوفير حافة علوية ناعمة للمصطبة العقدية في شكل قوسين بأنصاف أقطار مختلفة. الشكل النموذجي للمصطبة العقدية موضح بالشكل رقم (٣,٢) (USBR 1987).

التصرف للمصطبة العقدية يمكن إيجاده بالمعادلة:

$$Q = C\,L\,H_o^{3/2} \qquad (٣,٥٠)$$

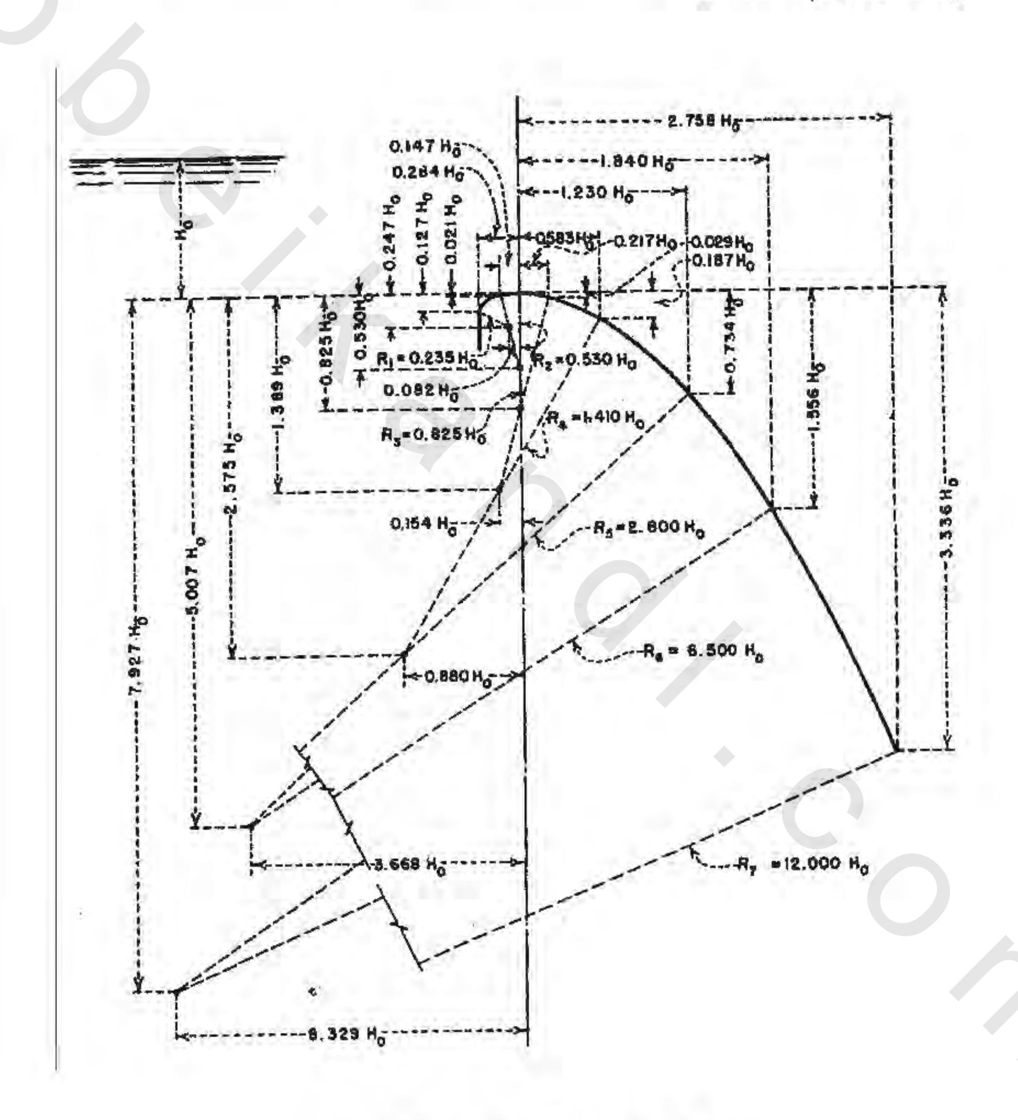
حيث إن:

C تتراوح من ٢,١٨١ إلى ٢,٢٢٥ في حالة $H_o = H_d$

$P/H_d \succ 2.50$

المنحنيات التجريبية متاحة لتقدير C لقيم أخرى من H_o و P/H_d بخلاف الضاغط التصميمي (USBR 1987). واختيار قيم C مختلفة عن القيم P/H_d مدرجة في الجدول رقم (٣,١٢أ).

وقيم تقريبية لمعامل التصرف لضغوط تصميمية أخرى للشكل العقدي مبينة في الجدول رقم (٣,١٢ ب).



الشكل رقم (٣,٢). الشكل العقدي النموذجي.

المصدر: USBR (1987).

obeikandl.com

الجدول رقم (٣,١٢أ). معامل التصرف للجانب الرأسي للمصطبة ذات الشكل العقدي بتغير قيمة P .

P/H_d	C
٠	١,٧٠٠
٠,٥	٢,٠٩٨
١,٠	٢,١٤٢
١,٥	٢,١٥٩
٢,٠	٢,١٧٠
٢,٥	٢,١٧٦
٣,٠	٢,١٨١

H_d = الضاغط التصميمي مشتملاً السرعة المطبقة.

المصدر: USBR (1987).

الجدول رقم (٣,١٢ب). معامل التصرف للجانب الرأسي للمصطبة ذات الشكل العقدي للقيم المختلفة عن ضاغط التصميم.

H_o/H_d	C_a/C
٠,٠٥	٠,٨
٠,٢٠	٠,٨٥
٠,٤٠	٠,٩
٠,٦	٠,٩٤
٠,٨	٠,٩٧
١,٠	١,٠
١,٢	١,٠٢٥
١,٤	١,٠٥
١,٦	١,٠٧

C_a = معامل التصرف عند ضاغط H_o.

المصدر: USBR (1987).

obeikandl.com

السريان عبر المنحدرات شديدة الميل Flow along Steep Slopes

من الحالات الشائعة التي تعترض السريان فوق الحرج السريان في الناحية السفلية للتيار عبر المصب أو عند ميل الوزرة في نهاية المساقط. تقدير السرعة وعمق السريان على قمة هذه المنحدرات الشديدة تكون مطلوبة لتصميم قياسات الطاقة المفقودة عند هذه الأبنية. ويمكن أن يتم ذلك باستخدام معادلة الطاقة:

$$H + z = y + q^2/\left(2 g y^2\right) + q^2 n^2 L/y^{3.33} \qquad (٣,٥١)$$

حيث إن:

H = الضاغط فوق المصطبة ويشمل سرعة الاقتراب (م).

z = ارتفاع المصطبة فوق المرتكز (م).

L = طول الميل (م).

q = وحدة التصرف (م٢/ ث) = $C H^{1.5}$.

C = معامل التصرف للمصطبة.

y = عمق السريان عند المرتكز (م).

تحل المعادلة رقم (٣.٥١) بطريقة التجربة والخطأ. ويمكن حساب السرعة عند المرتكز وتساوي $V = q/y$. وللمنحدرات شديدة الميل والتي تتغير الميول فيها من ٠.٦ أفقي: ١ رأسي إلى ٠.٨ أفقي: ١ رأسي عند المرتكز يمكن تقديرها من المنحنيات التجريبية المتوفرة في مختلف المراجع مثل (Chow 1959; Peterka 1978). والقيم الموصى بها موضحة في الجدول رقم (٣.١٣).

ogeikandi.com

الجدول رقم (٣,١٣). السرعات للوجه السفلي للسريان داخل القناة بميل من ٠,٦ افقي: ١ رأسي إلى ٠,٨ أفقي: ١ رأسي.

السرعة (م/ث)						Z(m)
H=12.2m	H=9.1m	H=6.1m	H=3.05m	H=2.29m	H=0.76m	
١٣,٧	١٣,٧	١٣,٧	١٣,٧	١٣,٤	١٢,٢	١٢
١٩,٨	١٩,٨	١٩,٨	١٨,٩	١٨,٦	١٥,٢	٢٤
٢٤,٤	٢٤,٤	٢٤,٤	٢٢,٩	٢١,٣	١٥,٨	٣٧
٢٨,٠	٢٨,٠	٢٧,٤	٢٤,٧	٢٣,٢	١٥,٨	٤٩
٣٢,٠	٣١,٧	٢٩,٩	٢٦,٢	٢٤,١	١٥,٨	٦١
٣٤,٤	٣٣,٨	٣٢,٠	٢٧,٤	٢٤,٤	١٥,٨	٧٣
٣٧,٢	٣٦,٣	٣٣,٥	٢٨,٠	٢٤,٧	١٥,٨	٨٥
٣٩,٦	٣٨,١	٣٥,٤	٢٨,٣	٢٤,٧	١٥,٨	٩٨
٤١,٥	٣٩,٦	٣٦,٦	٢٨,٣	٢٤,٧	١٥,٨	١١٠
٤٣,٦	٤١,٥	٣٧,٢	٢٨,٣	٢٤,٧	١٥,٨	١٢٢

المصدر: Peterka (1978).

القفزة الهيدروليكية Hydraulic Jump

تحدث القفزة الهيدروليكية في المرحلة الانتقالية بين السريان فوق الحرج والسريان تحت الحرج. وتشمل الحالات التي تعترض السريان فوق الحرج أسفل المنحدر الحاد لمصرف المياه أو المساقط المبنية أو السريان من خلال فتح بوابة دخول قناة المنحدر البسيط على الجانب السفلي. وللقفزة الهيدروليكية في القنوات المستطيلة الأفقية (انظر الشكل رقم (٣,٣)) تكون:

$$y_1\, y_2\, (y_1 + y_2) = 2\, q^2 / g \qquad (\text{أ}٣,٥٢)$$

$$y_2 / y_1 = 1/2 \left[\sqrt{\left(1 + 8\, F_1^{\,2}\right)} - 1 \right] \qquad (٣,٥٢\text{ب})$$

Obeikandi.com

$$H_L = (y_2 - y_1)^3 / (4\, y_1\, y_2) \quad (٣,٥٣)$$

$$E_1 = y_1 + V_1^2/2g = y_1 + q^2/(2g\, y_1^2) \quad (٣,٥٤أ)$$

$$E_2 = y_2 + V_2^2/2g = y_2 + q^2/(2g\, y_2^2) \quad (٣,٥٤ب)$$

حيث إن:

y_1 = عمق الماء فوق الحرج قبل القفزة الهيدروليكية.

y_2 = عمق الماء تحت الحرج بعد القفزة الهيدروليكية.

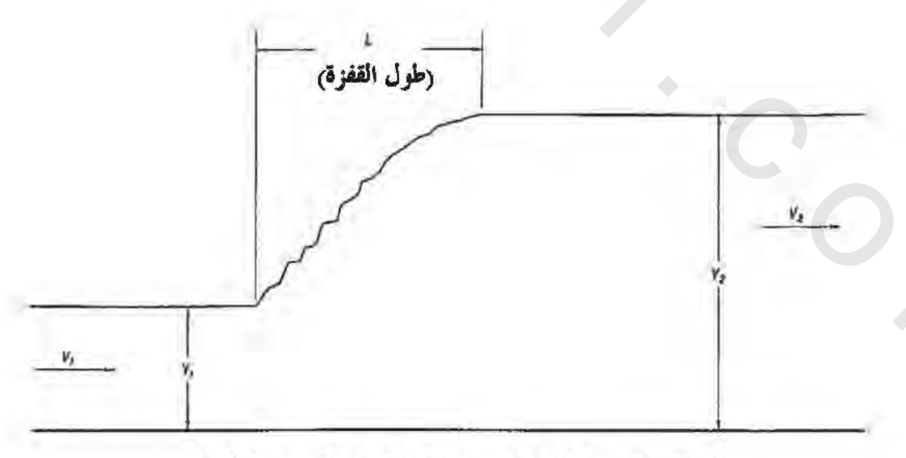
V_1 ، V_2 = السرعة قبل وبعد القفزة الهيدروليكية على الترتيب.

F_1 = رقم فرود قبل القفزة الهيدروليكية = $V_1/\sqrt{(g\, y_1)}$

H_L = فاقد الطاقة خلال القفزة الهيدروليكية.

q = التصرف لكل وحدة عرض من القناة.

E_1 ، E_2 = الطاقة النوعية قبل وبعد القفزة على الترتيب.



الشكل رقم (٣,٣). القفزة الهيدروليكية في القنوات الأفقية.

يمكن استنتاج عمق الماء بعد القفزة y_2 من المنحنيات البيانية التجريبية المنشورة بين y_2/y_1 و F_1 لمختلف أنواع الوزرة المائلة (Chaw 1959). وفي كثير من الحالات العملية تكون وحده التصرف q وارتفاعات سطح الماء والسرعات عند المنبع والمصب للمسقط معروفة من حسابات منحنى سطح الماء. ويمكن اعتماد طريقة التجربة والخطأ لتحديد معاملات القفزة الهيدروليكية لمثل هذه الحالات. وتلك المعاملات عديمة الوحدات وذلك بوضع $x = y_1/y_c$ ، $y = y_2/y_c$ ، $\ell = H_L/y_c$ ، $m = E_1/y_c$ ، $n = E_2/y_c$ حيث y_c العمق الحرج ويساوي $y_c = (q^2/g)^{1/3}$. لاحظ أن x تتغير من صفر إلى الواحد الصحيح. ولأي اختيار لقيمة x فإن قيم المعاملات عديمة الوحدات m ، y ، n ، z يمكن استنتاجها من:

$$m = x + 1/(2x^2) \tag{٣,٥٥أ}$$

$$x y (x + y) = 2 \tag{٣,٥٥ب}$$

$$n = y + 1/(2y^2) \tag{٣,٥٥ج}$$

$$\ell = (y - x)^3/(4xy) \tag{٣,٥٥د}$$

اختيار قيم y ، x ، m ، n ، ℓ مدرجه في الجدول رقم (٣,١٤). ويمكن رسم منحنى بياني واحد بين y_1 و E_1 لمختلف قيم q . وهذا المنحنى يمكن تحديده لرسم منحنى بياني بين y_2 و E_2 . ويصبح هذا المنحنى البياني هو منحنى الطاقة النوعية. ومنحنى الطاقة النوعية النموذجي موضح في الشكل رقم (٣,٤). والمجموعة الثانية من المنحنيات البيانية يمكن إعدادها بين H_L و E_2 للقيم المختلفة من q وتسمى منحنيات بلنش، وهذه المنحنيات مفيدة للمواقع التي لا تزال ذكرها كأحواض ترسيب أرضية في التطبيقات العملية (Singh 1967). ومنحنى بلنش النموذجي موضح في الشكل رقم (٣,٥).

الجدول رقم (٣,١٤). اختيار القيم y ، x ، m ، n ، ℓ .

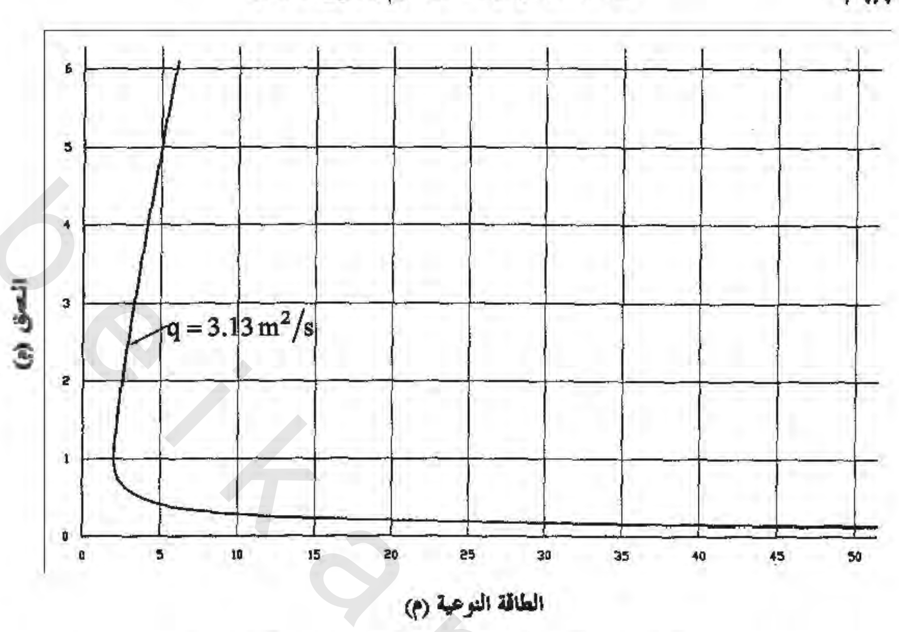
$y = y_2/y_c$	$x = y_1/y_c$	$m = E_1/y_c$	$n = E_2/y_c$	$\ell = H_L/y_c$
١,٠	١,٠	١,٥	١,٥	٠
١,١	٠,٩٠٦٢٥٦	١,٥١٥٠٤٧	١,٥١٣٢٢٣	٠,٠٠١٨٢٤
١,٢	٠,٨٢٣٦١	١,٥٦٠٧١	١,٥٤٧٢٢٢	٠,٠١٣٤٨٨
١,٣	٠,٧٥٠٣٤٣	١,٦٣٨٤١٩	١,٥٩٥٨٥٨	٠,٠٤٢٥٦١
١,٤	٠,٦٨٥١٢٥	١,٧٥٠٣٢٣	١,٦٥٥١٠٢	٠,٠٩٥٢٢١
١,٥	٠,٦٢٦٨٩٣	١,٨٩٩١٧٥	١,٧٢٢٢٢٢	٠,١٧٦٩٥٣
١,٦	٠,٥٧٤٧٧٣	٢,٠٨٨٢٥٦	١,٧٩٥٣١٣	٠,٢٩٢٩٤٤
١,٦٦٦٤	٠,٥٤٣١٧٧	٢,٢٣٧٨٥٤	١,٨٤٦٤٥٨	٠,٣٩١٣٩٦
١,٧	٠,٥٢٨٠٣١	٢,٣٢١٣٢١	١,٨٧٣٠١	٠,٤٤٨٣١١
١,٨	٠,٤٨٦٠٤٢	٢,٦٠٢٥٦٦	١,٩٥٤٣٢١	٠,٦٤٨٢٤٥
١,٨١	٠,٤٨٢٠٨٢	٢,٦٣٣٥١٤	١,٩٦٢٦٢	٠,٦٧٠٨٩٤
١,٨٢	٠,٤٧٨١٦٥	٢,٦٦٤٩٩٥	١,٩٧٠٩٤٨	٠,٦٩٤٠٤٧
١,٨٣	٠,٤٧٤٢٨٨	٢,٦٩٧٠١٣	١,٩٧٩٣٠٣	٠,٧١٧٧١
١,٨٤	٠,٤٧٠٤٥٢	٢,٧٢٩٥٧٣	١,٩٨٧٦٨٤	٠,٧٤١٨٨٩
١,٨٥	٠,٤٦٦٦٥٦	٢,٧٦٢٦٨	١,٩٩٦٠٩٢	٠,٧٦٦٥٨٨
١,٨٦	٠,٤٦٢٨٩٩	٢,٧٩٦٣٤	٢,٠٠٤٥٢٥	٠,٧٩١٨١٤
١,٨٧	٠,٤٥٩١٨٢	٢,٨٣٠٥٥٦	٢,٠١٢٩٨٤	٠,٨١٧٥٧٣
١,٨٨	٠,٤٥٥٥٠٣	٢,٨٦٥٣٣٥	٢,٠٢١٤٦٧	٠,٨٤٣٨٦٨
١,٨٩	٠,٤٥١٨٦٣	٢,٩٠٠٦٨١	٢,٠٢٩٩٧٤	٠,٨٧٠٧٠٨
١,٩	٠,٤٤٨٢٦	٢,٩٣٦٦	٢,٠٣٨٥٠٤	٠,٨٩٨٠٩٦
٢	٠,٤١٤٢١٤	٣,٣٢٨٤٢٧	٢,١٢٥	١,٢٠٣٤٢٧
٢,١	٠,٣٨٣٤٨٦	٣,٧٨٣٤٣١	٢,٢١٣٣٧٩	١,٥٧٠٠٥٢

obeikandl.com

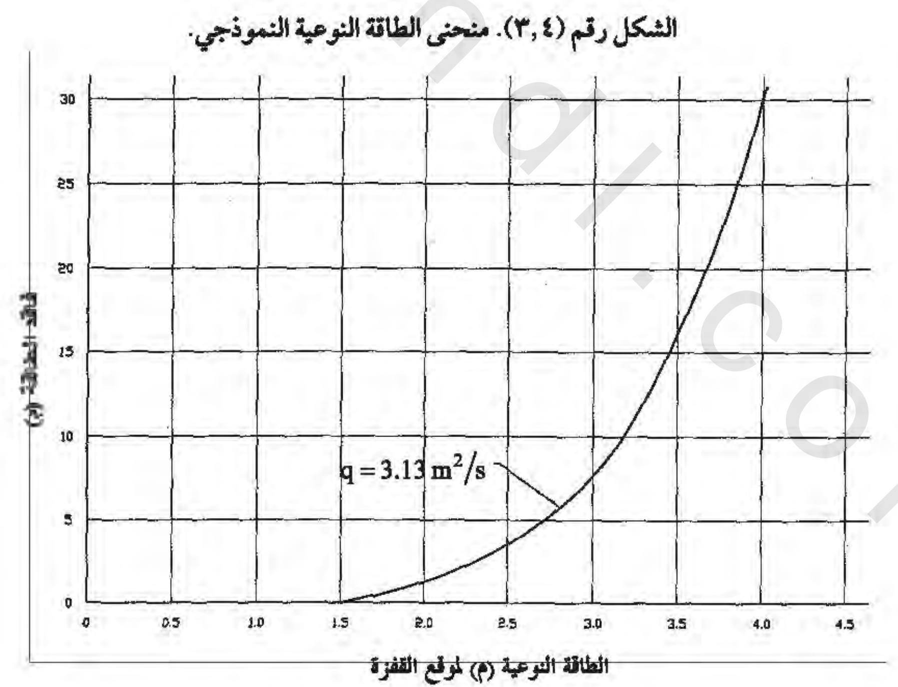
تابع الجدول رقم (٣,١٤).

$\ell = H_L/y_c$	$n = E_2/y_c$	$m = E_1/y_c$	$x = y_1/y_c$	$y = y_2/y_c$
٢,٠٠٤٠٥٤	٢,٣٠٣٣٠٦	٤,٣٠٧٣٥٩	٠,٣٥٥٧١	٢,٢
٢,٥١١٨٠١	٢,٣٩٤٥١٨	٤,٩٠٦٣١٩	٠,٣٣٠٥٦٢	٢,٣
٣,٠٩٩٩٥٧	٢,٤٨٦٨٠٦	٥,٥٨٦٧٦٣	٠,٣٠٧٧٥٨	٢,٤
٣,٧٧٥٤٨٣	٢,٥٨	٦,٣٥٥٤٨٥	٠,٢٨٧٠٤	٢,٥
٣,٨٣٢٠٥٩	٢,٥٨٧٣٠٣	٦,٤١٩٣٦٢	٠,٢٨٥٥٠٨	٢,٥٠٧٨
٤,٥٤٥٦٥	٢,٦٧٣٩٦٤	٧,٢١٩٦١٥	٠,٢٦٨١٩٣	٢,٦
٥,٤١٨٠٢٢	٢,٧٦٨٥٨٧	٨,١٨٦٦١	٠,٢٥١٠١٢	٢,٧
٦,٤٠٠٤٧٩	٢,٨٦٣٧٧٦	٩,٢٦٤٢٥٤	٠,٢٣٥٣٢٤	٢,٨
٧,٥٠١٢٠٢	٢,٩٥٩٤٥٣	١٠,٤٦٠٦٥	٠,٢٢٠٩٧٤	٢,٩
٨,٧٢٨٦٧٩	٣,٠٥٥٥٥٦	١١,٧٨٤٢٣	٠,٢٠٧٨٢٥	٣
١٠,٠٩١٧١	٣,١٥٢٠٢٩	١٣,٢٤٣٧٤	٠,١٩٥٧٥٥	٣,١
١١,٥٩٩٣٨	٣,٢٤٨٨٢٨	١٤,٨٤٨٢١	٠,١٨٤٦٥٧	٣,٢
١٣,٢٦١١١	٣,٣٤٥٩١٤	١٦,٦٠٧٠٣	٠,١٧٤٤٣٤	٣,٣
١٥,٠٨٦٦١	٣,٤٤٣٢٥٣	١٨,٥٢٩٨٦	٠,١٦٥٠٠٣	٣,٤
١٧,٠٨٥٨٨	٣,٥٤٠٨١٦	٢٠,٦٢٦٧	٠,١٥٦٢٨٧	٣,٥
١٩,٢٦٩٢٥	٣,٦٣٨٥٨	٢٢,٩٠٧٨٣	٠,١٤٨٢١٩	٣,٦
٢١,٦٤٧٣٣	٣,٧٣٦٥٢٣	٢٥,٣٨٣٨٦	٠,١٤٠٧٣٩	٣,٧
٢٤,٢٣١٠٦	٣,٨٣٤٦٢٦	٢٨,٠٦٥٦٨	٠,١٣٣٧٩٣	٣,٨
٢٧,٠٣١٦٥	٣,٩٣٢٨٧٣	٣٠,٩٦٤٥٢	٠,١٢٧٣٣٥	٣,٩
٣٠,٠٦٠٦	٤,٠٣١٢٥	٣٤,٠٩١٨٨	٠,١٢١٣٢	٤

obeikandl.com



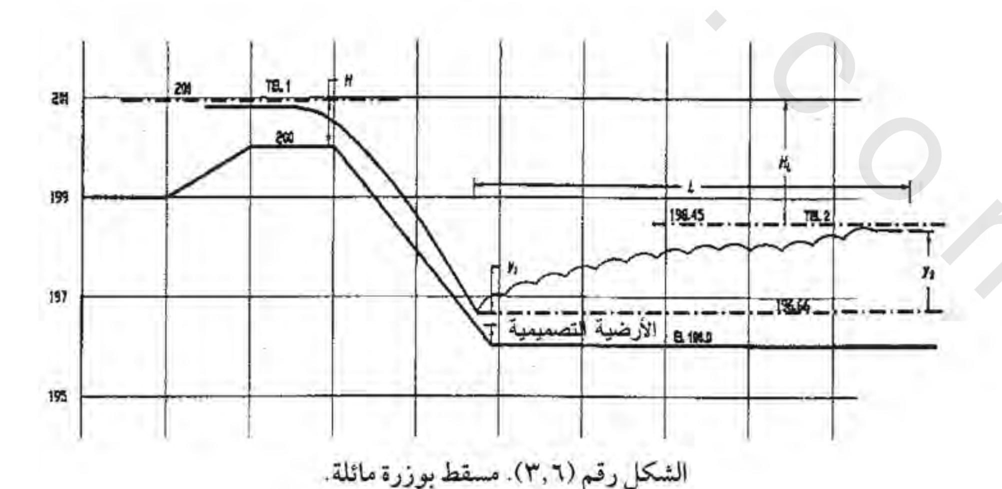
الشكل رقم (٣,٤). منحنى الطاقة النوعية النموذجي.



الشكل رقم (٣,٥). منحني بلنش النموذجي.

مطلوب تحديد موقع القفزة الهيدروليكية لتصميم الساحات وأحواض الترسيب لتصبح مساقط هيكلية، مصارف المياه، وبوابات المسيل. والترتيب النموذجي للمساقط بوزرة مائلة موضح في الشكل رقم (٦.٣). إذا كان العمق المتوفر للماء الخلفي يفوق ارتفاع القفزة التالية فإن القفزة الهيدروليكية ستتشكل فوق الوزرة المائلة، وتشكل وجه المصب لهيكل المسقط أو مصرف المياه. وإذا كان العمق المتوفر للماء الخلفي يقل عن ارتفاع القفزة التالية فإن القفزة الهيدروليكية ستتشكل على الجزء الأفقي الذي يربط المسقط بقناة المصب أو نهاية بوابات المسيل. وموقع القفزة الهيدروليكية على الوزرة الأفقية قليلة الاحتكاك وحيث السريان تحت الحرج قد يكون غير مستقر وينتقل للأمام مع تغييرات طفيفة نسبياً في عمق التصرف أو عمق الماء الخلفي. ومن ناحية أخرى فإن القفزة الهيدروليكية على الوزرة المنحدر قد تكون مقصورة على منطقة محددة جداً لمجموعة كبيرة من ظروف السريان. ولذلك فمن الناحية العملية ومن المستحسن أن تتشكل القفزة الهيدروليكية فوق أو في طرف الوزرة المائلة لمعظم أحوال السريان (انظر الشكل رقم ٦,٣).

obeikandl.com



الشكل رقم (٦,٣). مسقط بوزرة مائلة.

يمكن تقدير طول القفزة L على الأرضية الأفقية من القيم الواردة في الجدول رقم (٣,١٥) (USBR 1987).

الجدول رقم (٣,١٥). طول القفزة الهيدروليكية على القاع الأفقي.

F	L_j/y_2
١,٥	٣,٦
٢	٤,٤
٣	٥,٢٥
٤	٥,٨
٥	٦,٠
٦	٦,١٥
٧	٦,١٥
٨	٦,١٥
٩	٦,١٥
١٠	٦,١٥
١١	٦,١٠
١٢	٦,٠٥
١٣	٦,٠٢
١٤	٦,٠
١٥	٥,٩٢
١٦	٥,٨٥
١٧	٥,٨
١٨	٥,٧
١٩	٥,٦
٢٠	٥,٤٥

المصدر: USBR (1987).

obeikandl.com

الخطوات الحسابية لمكان القفزة الهيدروليكية على الوزرة الأفقية أو أرضية ذات ميل معتدل (الشكل رقم ٣,٧ أ) كما يلي (Chow 1959):

١- احسب عمق المياه y عند الوزرة المائلة المانع للماء أو بعد نهاية بوابة المصب مباشرة، وعمق الماء الخلفي y_2' في قناة المصب.

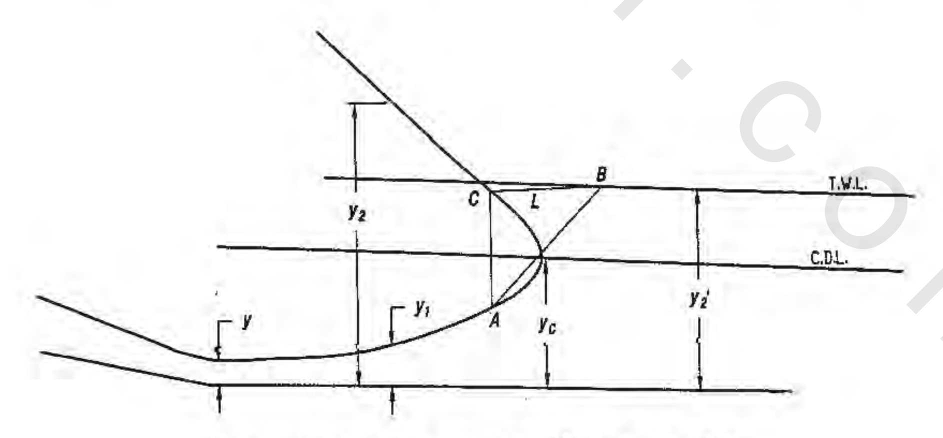
٢- احسب العمق الحرج y_c .

٣- احسب شكل ميل سطح الماء المعتدل بدءاً من y_c عند نهاية المصب إلى y في نهاية المنبع.

٤- لكل عمق y_1 وعلى شكل سطح الماء المحسوب احسب F_1 وعمق القفزة التالية المرادفة F_2 وارسم بيانياً أعماق القفزة التالية (الشكل رقم ٣,٧ أ). القفزة التي ستتشكل تكون ذات ميل منتظم إذا كانت $y_2 \prec y_2'$.

٥- حدد نقطة تقاطع شكل القفزة التالية وخط عمق الماء الخلفي.

٦- قدر طول القفزة L المقابلة لعمق القفزة التالية عند نقطة التقاطع المذكورة.



الشكل رقم (٣,٧ أ). القفزة الهيدروليكية على ميل متوسط.

٧- عين موقع التقاطع الأفقي L بين عمق الماء الخلفي وشكل عمق القفزة التالية. هذا هو مكان القفزة A . وإذا كان مقدار عمق القفزة التالية عند هذا المكان يختلف اختلافاً كبيراً عن تلك المستخدمة في تقدير طول القفزة أعد حساب طول قفزة الماء الخلفي وعين موقع نقطة التقاطع لتحسين موقع القفزة.

تتشكل القفزة الهيدروليكية في الوزرة شديدة الانحدار إذا كانت $y_2 \succ y_2'$. الخطوات الحسابية لهذه الحالة (الشكل رقم ٣,٧ ب) كما يلي (Chow 1959):

١- احسب عمق المياه y ، على الوزرة المائلة مباشرة بعد نهاية بوابة المسيل وعمق الماء الخلفي y_2' وفي اتجاه مصب القناة.

٢- احسب العمق الحرج y_c ، وارسم بيانياً خط العمق الحرج (CDL) فوق الوزرة شديدة الانحدار.

٣- احسب شكل سطح المار المنحدر بشدة بدءاً من y_c عند نهاية المنبع حتى y_2' عند نهاية المصب.

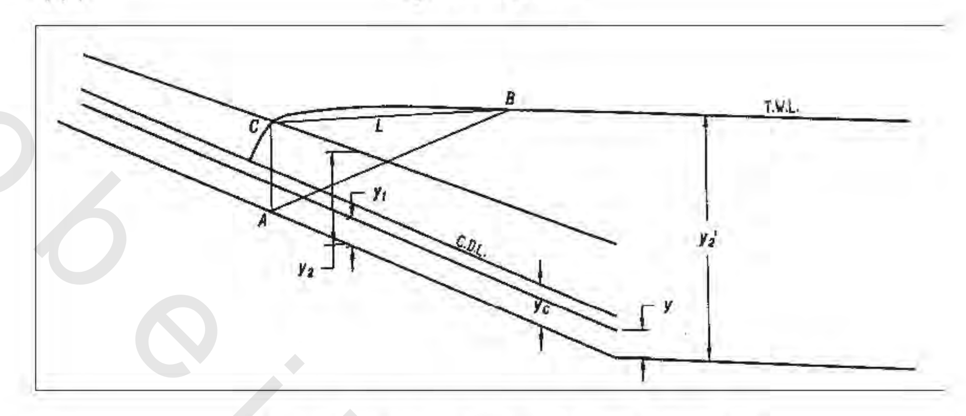
٤- لكل عمق y_1 عند سطح الماء في الوزرة شديدة الانحدار، عمق قفزة تالية (بالتسلسل) y_2 . وارسم منحنى تسلسل عمق الماء.

٥- حدد موقع نقطة تقاطع شكل القفزة التالية مع خط عمق الماء الخلفي.

٦- قدر طول القفزة التجريبي L والمرادفة لعمق القفزة التالية عند نقطة التقاطع للعمق المذكور أعلاه.

٧- حدد التقاطع الأفقي L بين عمق الماء الخلفي وشكل عمق القفزة التالية. هذا هو موقع القفزة A . وإذا كان عمق القفزة التالية عند هذا الموقع يختلف اختلافاً كبيراً عن تلك المستخدمة في تقدير طول القفزة التجريبي أعد حساب طول قفزة الماء الخلفي وعين التقاطع لتحسين موقع القفزة.

openkandil.com



الشكل رقم (٣,٧ ب). القفزة الهيدروليكية على ميل شديد.

وعندما يكون شكل سطح الماء متاحاً لقيم q المعلومة عند كل من منبع السريان ومصب السريان لمنشأة سقوط فإنه من المرغوب أن تقع القفزة الهيدروليكية عند القاع الأفقي أو عند منبع السريان عند الطرف الأمامي للوزرة المائلة، والخطوات الحسابية المبسطة لتلك الحالات العملية تكون كالتالي:

• احسب الطاقة الكلية لنقطة السقوط في منبع السريان، TEL1 = منسوب سطح الماء عند منبع السريان + $V_a^2/2g$، حيث V_a هي سرعة السريان المقترب. أهمل فاقد الاحتكاك على الوزرة المائلة.

• احسب الطاقة الكلية لنقطة السقوط عند المصب، TEL2 = منسوب الماء الخلفي + $V^2/2g$، حيث V هي السرعة في قناة مصب السريان.

• احسب الفاقد في الضاغط H_L حيث $H_L = TEL1 - TEL2$.

• بمعرفة q و H_L احسب E_2 باستخدام منحنيات بلنش أو الخطوات الحسابية المستخدمة لتعيين هذه المنحنيات (الموضحة سابقاً في هذا الجزء).

• بمعرفة q و E_2 احسب y_2 من المنحنيات البيانية للطاقة النوعية أو الخطوات الحسابية المستخدمة لتعيين هذه المنحنيات (الموضحة سابقاً في هذا الجزء).

• قم برسم خط عند العمق E_2 أسفل TEL2 وحدد موضع النقطة حيث يتقاطع الخط مع الوزرة المائلة. إذا كانت الوزرة أفقية وتقع عند أو أسفل هذا الارتفاع فإن القفزة الهيدروليكية يحتمل أن تكوّن عند أو فوق الطرف الأمامي من الوزرة المائلة (الشكل رقم ٣,٦).

• إذا كان طول الوزرة المائلة كبيراً فإن y_1 و V_1 عند الموقع المقدر من الوزرة الأفقية ربما يتم تقديرهما باستخدام الإجراءات المعطاة في الجزء الذي عنوانه "السريان على طول المنحدرات الشديدة انحدار". وعندها يتم حساب TEL1 باستخدام هذه القيم والخطوات الحسابية المتبقية تعاد للحصول على الموقع المراجع للوزرة الأفقية.

إن تصميم منسوب القاع الأفقي أو حوض الترسيب عند مصب السريان للمساقط أو قنوات تصريف فائض المياه أو بوابة الهويس يتطلب اختبار التصرفات المختلفة (مثلاً، ١٠ ، ٢٥ ، ٥٠ ، ٧٥ ، ١٠٠٪ من التصرف التصميمي). الوزرة الأفقية أو الطرف الأمامي للوزرة يجب أن يكون عند موقع أسفل موقع القفزة الهيدروليكية للمدى الكامل من التصرف المتوقع.

مثال رقم (٣,٦): حالتي تصميم لحوض ترسيب يشملان تصرف q يساوي ١,٧م²/ ث و ٣٥,١ م²/ ث على الترتيب. أوضحت حسابات سطح الماء الجانبي للتدفق الأقل أن الطاقة الكلية عند المنبع TEL1 تساوي ٢٠١م وأن منسوب الماء الخلفي ١٩٨,٣٣م، والطاقة الكلية عند المصب TEL2 تساوي ١٩٨,٤٥م. وللتدفق الأعلى الطاقة الكلية عند المنبع TEL1 تساوي ٢٠٨,١٨م وأن منسوب الماء الخلفي

٢٠٦,٠٥م، والطاقة الكلية عند المصب TEL2 تساوي ٢٠٦,٢٢م. حدد موقع والطول التقريبي للقاع الأفقي.

الحل:

باستخدام منحنيات بلنش يمكن استنتاج قيمة E_2 من القيم المعروفة q والفاقد الكلي $H_L = TEL1 - TEL2$. إذن y_2 تبعاً لقيمة E_2 يمكن قراءتها لقيمة q المعطاة من المنحنيات البيانية للطاقة النوعية. ومنسوب القاع الأفقي يجب أن يكون أسفل المنسوب $TEL2 - E_2$.

اختبار تجريبي بديل بطريقة التجربة والخطأ للحسابات موضحة في الجدول رقم (٣,١٦). وقيمة الاختبار التجريبي لـ x يتم افتراضها والقيمة المناظرة لـ y يتم حسابها من المعادلة رقم (٣,٥٥ ب). وهذا يساعد في حساب y_1، y_2، E_1، و E_2. ويتم مواصلة الاختبارات التجريبية حتى تصبح قيمة $E_1 - E_2$ قريبة من قيمة H_L المعلومة.

حسابات حالتي التصرف المعطاة تقترح أن طول الوزرة الأفقية ٤٠م ويجب أن تكون عند منسوب ١٩٦,٠م تقريباً (انظر الشكل رقم ٣,٦).

الجدول رقم (٣,١٦). حسابات القفزة الهيدروليكية لموقع قاع أفقي أسفل الوزرة المائلة.

المتغير	حالة التدفق الأقل	حالة التدفق الأعلى
q (م٢/ث)	١,٧	٣٥,١
H_L (م)	٢٠١,٠ − ١٩٨,٤٥ = ٢,٥٥	٢٠٨,١٨ − ٢٠٦,٢٢ = ١,٩٦
y_c (م)	٠,٦٦٥٤	٥,٠٠
$\ell = H_L / y_c$	٣,٨٣٢٣	٠,٣٩٢
x (بمعرفة ℓ ومن الجدول رقم (٣,١٤)	٠,٢٨٥٥	٠,٥٤٣٢

تابع الجدول رقم (٣,١٦).

المتغير	حالة التدفق الأقل	حالة التدفق الأعلى
y (من المعادلة رقم ٣,٥٥)	٢,٥٠٧٨	١,٦٦٦٤
y_1 (م)	٠,٢٨٥٥ × ٠,٦٦٥٤ = ٠,١٩	٠,٥٤٣٢ × ٥,٠٠ = ٢,٧٢
y_2 (م)	١,٦٧	٨,٣٣
E_1 (م)	٤,٢٧	١١,١٩
E_2 (م)	١,٧٢	٩,٢٣
$F_1 = q/\sqrt{(g\, y_1^{\,3})}$	٦,٥٥	٢,٤٩٨
منسوب القاع الأفقي (م)	١٩٨,٣٣ – ١,٦٧ = ١٩٦,٦٦	٢٠٦,٠٥ – ٨,٣٣ = ١٩٧,٧٢
طول القاع الأفقي (م)	٦,٢ × ١,٦٧ = ١٠,٤	٤,٨ × ٨,٣٣ = ٤٠

السريان غير المستقر Unsteady Flow

واحدة من أكثر مشاكل السريان غير المستقر شيوعاً والتي تواجه التطبيق العملي هي تحليل حاجز تكسر (صد) أمواج الفيضان. ولتحليل مفصل لحاجز تكسر أمواج الفيضان فإنه يجب استخدام نموذج حاجز التكسر NWS (Fread 19888) أو ما يماثله. وقد تم تطوير العديد من المعادلات البسيطة والتقريبية لتقدير أقصى تصرف وزمن التحرك وعمق الفيضان الناتج عن حاجز التكسر. وفي بعض الحالات العملية فإن تلك الطرق البسيطة يمكن أن تكون مفيدة.

في حالة عمق كامل واتساع جزئي لحاجز تكسر ما:

$$Q_{max} = (8/27)\, b\, Y_0\, (B/b)^{1/4} \sqrt{(g\, Y_0)} \qquad (٣,٥٦)$$

في حالة عمق جزئيي واتساع كامل لحاجز تكسر ما:

$$Q_{max} = (8/27)\, B\, Y\, (Y_0/Y)^{1/3} \sqrt{(g\, Y)} \qquad (٣,٥٧)$$

في حالة عمق جزئي واتساع جزئي لحاجز تكسر ما:

$$Q_{max} = (8/27)\, b\, Y\, (B/b)^{1/4} (Y_0 / Y)^{1/3} \sqrt{(g\, Y)} \qquad (٣,٥٨)$$

حيث إن:

Q_{max} = أقصى تصرف (م³/ ث).

B = عرض القناة (م).

b = عرض حاجز التكسر (م).

Y = عمق الماء فوق قاع حاجز التكسر (م).

Y_0 = عمق الماء خلف حاجز التكسر (م) (USACE 1977).

ولانهيار كامل وفوري للحاجز والتدفق خلال قناة مستطيلة فإن عمق الماء Y (م) عند زمن t (ث) ومسافة x (م) من الحاجز (مع إهمال الاحتكاك) يعطى بالمعادلة التالية (Chow 1959; Rouse1950):

$$x = 2\, t \sqrt{(g\, Y_0)} - 3\, t \sqrt{(g\, Y)} \qquad (٣,٥٩)$$

المعادلات العملية لتقدير أقصى تصرف فوق حاجز التكسر اعتماداً على معلومات انهيار الحاجز هي (USBR 1987):

$$Q_{max} = 19.13\, (Y_0)^{1.85} \qquad (٣,٦٠أ)$$

ومعادلة خدمة الحفاظ على التربة لأقصى تصرف على حاجز التكسر هي (USDA 1981):

$$Q_{max} = 16.58\, (Y_0)^{1.85} \qquad (٣,٦٠ب)$$

عملياً يجب عمل التقديرات الأولية باستخدام طرق عديد مختلفة، ويجب اختيار قيمة محافظة معقولة عن طريق الحكم. وهناك طريقة ملائمة أخرى لتقدير تصرفات الفيضان فوق حاجز التكسر وأزمنة التحرك وأعماق المياه في قناة النهر

المنشورية لانهيار كامل وفوري للحاجز وهي استخدام الجداول البيانية لساكا (USACE 1974).

من الممكن استنتاج بيانات المقطع العرضي لوادي مصب النهر وبيانات ارتفاع التخزين في حوض السد (الحاجز) وطول وقمة ارتفاع السد وزمن تطور الكسر وارتفاع حوض السد والذي عنده يبدأ الانهيار وعرض القاع وارتفاع القاع وميل جوانب الكسر المحتمل، حيث يمكن استخدام نموذج HEC-1 (USACE 1991a) لحساب أقصى التصرفات ومناسيب الفيضان عند أزمنة مختلفة ومواضع مختلفة في قناة مصب النهر. وقد أوضحت التقييمات المقارنة لنموذجي HEC-1 و NWS Dam-Break أن الاثنين يؤديان إلى نتائج يمكن مقارنتها لأقصى التصرفات وأقصى مراحل في وادي مصب النهر (Tschantz and Mojib 1981). وينصح باستخدام نموذج NWS Dam-Break (Fread 1988) لتحليل أكثر تعقيداً.

التصرف على طول المنحدرات Overland Flow along Slopes

التصرف على طول المنحدرات الناتج عن العاصفة يكون عادة غير ثابت ومتنوع الحيز وصعب التحليل. وتشمل الطرق العملية لاستنتاج معدلات التصرف على طول منحدرات أكوام المخلفات الصلبة وتجمعات النفايات طريقة إيزارد في حالة السريان الطبقي وطريقة هورتون في حالة السريان المضطرب (Chow 1959). وتتعرض التصرفات على طول المنحدرات إلى انجراف كبير يفترض أن يكون مضطرباً. في مثل هذه الحالات فإن معادلة هورتون للمعدل الزائد المنتظم لسقوط الأمطار هي:

$$q_L = 0.000278\ i\ \tan h^2 \left[6.06\ t\ \{i/(c\ L)\}^{0.5}\ S^{0.25} \right] \quad (٣,٦١)$$

حيث إن:

q_L = التصرف عند النهاية المنخفضة من الشريط الأساسي بوحدات (ل/ ث) لكل متر مربع من المساحة التي تسهم في الجريان السطحي.

i = معدل زيادة سقوط الأمطار (مم/ ساعة).

t = الزمن من بداية زيادة سقوط الأمطار (ساعة).

S = ميل السطح على طول اتجاه السريان (م/ م).

L = طول الانجراف الأساسي (م).

c = معامل الخشونة وقيمها مبينة في الجدول رقم (٣,١٧).

بفرض أن المساحة التي تسهم في الجريان السطحي هو لانجراف أساسي طوله L ولوحدة عرض فإن التصرف لكل وحدة عرض على المنحدر يعطى بالمعادلة:

$$q = q_L\, L \qquad (٣,٦٣)$$

الجدول رقم (٣,١٧). القيم النموذجية لمعامل الخشونة c.

نوع السطح	c
التربة الجرداء والمضغوطة	٠,١٠
غطاء العشب القليل أو السطح القاحل متوسط الخشونة	٠,٢٠
الغطاء العشبي المتوسط	٠,٤٠
الغطاء العشبي الكثيف	٠,٨٠

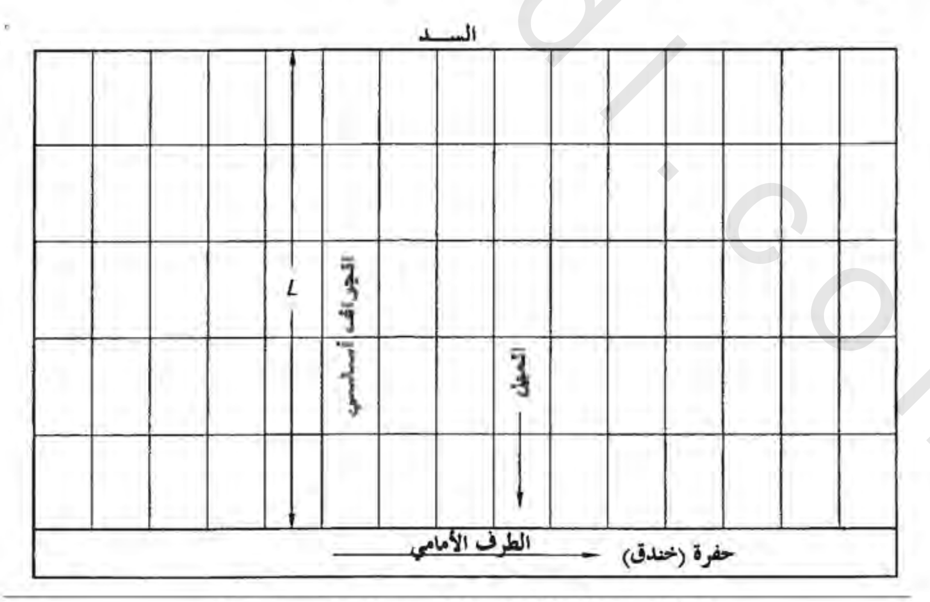
المصدر: Chow (1959).

إذا كان السريان طبقي ($iL < 3871$) فيجب استخدام معادلة إيزارد (Chow 1959). وتعطى معادلة هورتون المنحنى المائي للسريان عند نهاية الانجراف الأساسي للزيادة المستمرة لنزول الأمطار بمعدل منتظم لفترة محددة من الزمن.

obeikandl.com

ويمكن استنتاج المنحنى المائي للسريان لفترة محدودة من نزول الأمطار t_0 باستخدام مبدأ التنظيم. ولتقديرات محافظة للسريان على طول المنحدرات الشديدة فإنه يمكن افتراض أن زيادة سقوط الأمطار تساوي تقريباً كمية المطر.

وعادةً فإن التصرف عند الطرف الأمامي يتم جمعه في الخندق الفرعي (الموازي لطول السد) والمنتقل إلى المجاري المائية القريبة. والسريان قرب نهاية منبع النهر عند الخندق هو نفسه عند قاع الانجراف الأساسي الأول. ويزداد التصرف في الخندق مع المسافة من نهاية منبع التيار حيث إن المزيد والمزيد من الخطوط الأساسية تسرب فيه (السريان في الخندق متنوع الحيز). وكمية حركة التدفق القادم من الانجرافات الأساسية المتعاقبة تعيق التدفق في الخندق. وطريقة بسيطة نسبياً لتصميم الخندق هي عمل قاع مائل بشدة (فوق حرج) حوالي ٠.٠٥ وتقدير أبعاد الخندق يتم بفرض أن السريان حرج عند نهاية مصب النهر (الشكل رقم ٣,٨).



الشكل رقم (٣,٨). السريان البري على طول ميل السد.

مثال رقم (٣,٧): كون منحنى مائي للسريان عند نهاية انجراف بطول ٦١ م لوحدة العرض على طول المنحدر، مع اعتبار أن ميل السطح S يساوي ٠,٠١٤ ومعامل الخشونة c يساوي ٠,١٩٨، بفرض أن شدة سقوط الأمطار i منتظمة ويساوي ٢٤٣,١٧ مم/ ساعة أثناء العواصف الشديدة لفترات من ٦ و ١٢ دقيقة. ويبلغ طول السد حوالي ١٠٠٠ م. ضع تصميماً للخندق الجانبي على طول الطرف الأمامي لميل السد لنقل التصرف إلى المجرى المائي القريب. لتكون محافظاً وبهدف التبسيط افترض أن توقيتات التدفقات من الخطوط الأساسية التي تصل الخندق هي تلك التي يمكن أن تتحد قممها.

الحل:

في هذه الحالة فإن

$$i/(c\,L) = 20.137$$

وباستخدام المعادلة رقم (٣,٦١)

$$q_L = 0.0676 \tan h^2 \left[9.354\, t\right]$$

و

$$q = 61\, q_L = 4.1236 \tan h^2 \left[9.354\, t\right]$$

والحسابات بطريقة التنظيم الخطي موضحة في الجدول رقم (٣,١٨). ويمثل العمود رقم (٣) المنحنى المائي لسقوط المطر المستمر. وفي حالة عاصفة ممطرة تدوم ست دقائق فإن الإحداثيات الرأسية للمنحنى المائي للعمود رقم (٣) تتأخر بمقدار ٠,١٠ ساعة كما في العمود رقم (٤) ويمثل الفرق في العمود رقم (٥) المنحنى المائي المناظر. وفي حالة عاصفة ممطرة تدوم ١٢ دقيقة فإن الإحداثيات الرأسية للمنحنى

المائي تتأخر بمقدار ٠,٢٠ ساعة ويمثل الفرق في العمود رقم (٧) المنحنى المائي المناظر.

قمة المنحنى المائي q_{max} لعاصفة ممطرة تدوم ٦ دقائق هي ٠,٣١٧١ ل/ث، ولعاصفة ممطرة تدوم ١٢ دقيقة هي ٠,٦٢٩١ ل/ث .

الجدول رقم (٣,١٨). حسابات التصرف البري باستخدام طريقة هورتون.

t (ساعة)	tan h (9.354 t)	q (ل/ث)	فترة سقوط المطر ٦ دقائق q (تأخر)	فترة سقوط المطر ٦ دقائق q (الفرق)	فترة سقوط المطر ١٢ دقيقة q (تأخر)	فترة سقوط المطر ١٢ دقيقة q (الفرق)
(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٤)-(٣)=(٥)	(٦)	(٦)-(٣)=(٧)
٠,١	٠,٠٩٩٧	٠,٠٤١	٠	٠,٠٤١	٠	٠,٠٤١
٠,٢	٠,١٩٧	٠,١٦١	٠,٠٤١	٠,١٢٠	٠	٠,١٦١
٠,٣	٠,٢٩١	٠,٣٥٠	٠,١٦١	٠,١٨٩	٠,٠٤١	٠,٣٠٩
٠,٤	٠,٣٨٠	٠,٥٩٥	٠,٣٥٠	٠,٢٤٥	٠,١٦١	٠,٤٣٥
٠,٥	٠,٤٦٢	٠,٨٨١	٠,٥٩٥	٠,٢٨٥	٠,٣٥٠	٠,٥٣١
٠,٦	٠,٥٣٧	١,١٨٩	٠,٨٨١	٠,٣٠٩	٠,٥٩٥	٠,٥٩٤
٠,٧	٠,٦٠٤	١,٥٠٦	١,١٨٩	٠,٣١٧	٠,٨٨١	٠,٦٢٦
٠,٨	٠,٦٦٤	١,٨١٨	١,٥٠٦	٠,٣١٢	١,١٨٩	٠,٦٢٩
٠,٩	٠,٧١٦	٢,١١٦	١,٨١٨	٠,٢٩٧	١,٥٠٦	٠,٦١٠
١,٠	٠,٧٦٢	٢,٣٩٠	٢,١١٦	٠,٢٧٦	١,٨١٨	٠,٥٧٤
١,١	٠,٨٠٠	٢,٦٤٢	٢,٣٩٠	٠,٢٥١	٢,١١٦	٠,٥٢٧
١,٢	٠,٨٣٤	٢,٨٦٦	٢,٦٤٢	٠,٢٣٣	٢,٣٩٠	٠,٤٧٤
١,٣	٠,٨٦٢	٣,٠٦٢	٢,٨٦٦	٠,١٩٦	٢,٦٤٢	٠,٤٢٠
١,٤	٠,٨٨٥	٣,٢٣٢	٣,٠٦٢	٠,١٧٠	٢,٨٦٦	٠,٣٦٦
١,٥	٠,٩٠٥	٣,٣٧٨	٣,٢٣٢	٠,١٤٦	٣,٠٦٢	٠,٣١٦

التصرف الكلي Q عند المصب عند نهاية الخندق أثناء عاصفة مدتها ١٢ دقيقة:

$$Q = 0.629 \times 1000/1000 = 0.629\ m^3/s$$

وبفرض خندق شبه منحرف مع عرض قاعه B يساوي ٠,٣ م. فإن ميل أحد جوانب هذا الخندق هو ٠,٠١٤ أو ٧١,٤٢٨ أفقي: ١ رأسي و الأخر هو ٢ أفقي: ١ رأسي.

$$A = 0.3\,y + (2 + 71.428)\,y^2/2$$
$$T = 0.3 + (2 + 71.428)\,y$$

باستخدام معادلة التصرف الحرج:

$$Q = 0.629 = \sqrt{(gA^3/T)} = 3.132(0.3y + 36.714y^2)^{1.5}/(0.3 + 73.428y)^{0.5}$$

وبإتباع التجربة والخطأ نجد أن عمق الماء y يساوي ٠,١٤ م. وباستخدام حافة حرة ٠,٢ م يكون الخندق عمقه ٠,٣٤ م. ويمكن أن يقل عرض القاع بانتظام في اتجاه منبع التيار للحصول على حد أدنى من ٠,١٥ م عند طرف منبع التيار المائي.

انجراف التربة على المنحدرات Soil Erosion on Slopes

يؤدى السريان البري على طول المنحدرات الشديدة فوق الطبقة الرقيقة والغدير (الحزّ) والأخدود للانجراف. وانجراف الطبقة الرقيقة والحزّ يتم توضيحها في الجزء التالي من هذا الفصل. وانجراف الأخدود على المنحدرات الشديدة موضح في هذا الجزء. وقد تم تطوير المعادلات العملية لتقدير أقصى عمق وعرض لقمة الأخدود. والخطوات الحسابية للتقدير المحافظ هي كالتالي (Johnson 1999):

١- احسب مساحة مقطع التصرف A (م٢) للأخدود:

$$A = 0.276\,[L\cos\theta]^{1.636} \qquad (٣,٦٣)$$

حيث إن:

L = طول الميل (م).

θ = زاوية الميل مع الأفقي = $\arctan(S)$، S هو الميل (م/ م).

٢- احسب متوسط عمق التساقط السنوي P (م) ومتوسط التساقط الكلي خلال فترة التحليل (مثل t عام). ومتوسط التساقط السنوي بالقرب من موقع قياس التساقط يمكن الحصول عليه من السجلات المنشورة (مثل Gale Research Company 1985).

٣- احسب نسبة متوسط الجريان السطحي لمعدل سقوط الأمطار C للموقع. ومتوسط الجريان السطحي السنوي في المنطقة المجاورة للموقع يمكن أن يتم الحصول عليها من السجلات المنشورة (مثل Gerbert *et al.* 1989) وبيانات مصادر المياه للولايات المختلفة التي تنشر سنوياً من قبل هيئة المسح الجيولوجي بالولايات المتحدة.

٤- احسب الحجم الكلي للجريان السطحي V (م^٣) المتوقع عند الطرف الأمامي للمنحدر أثناء فترة التحليل:

$$V = G\,P\,t\,A \qquad (٣,٦٤)$$

٥- احسب أقصى عمق D_{max} (م) لشق الأخدود:

$$D_{max} = G\,L\,S \qquad (٣,٦٥)$$

إذا كان محتوى المنحدر من الطين < ١٥٪:

$$G = 1/\left[2.25 + \left\{0.789\ V/\ \left(H^3\right)\right\}^{-0.55}\right] \qquad (٣,٦٦)$$

إذا كان ١٥٪ < محتوى المنحدر من الطين < ٥٠٪:

$$G = 1/\left[2.80 + \left\{0.197\ V/\left(H^3\right)\right\}^{-.070}\right] \qquad (٣,٦٧)$$

إذا كان محتوى الطين في مادة المنحدر > ٥٠٪:

$$G = 1/\left[3.55 + \left\{0.76\ V/\left(H^3\right)\right\}^{-0.85}\right] \qquad (٣,٦٨)$$

حيث إن:

H = الارتفاع الرأسي للمنحدر (م) = $L\sin\theta$.

٦- احسب عرض المصطبة W (م) للأخدود عند نقطة أعمق شق:

$$W = \left(D_{max} / 0.61\right)^{1.149} \quad (٣,٦٩)$$

٧- احسب المسافة D_L (م) من D_{max} على طول الميل المقاس من المصطبة:

$$D_L / D_{max} = 0.713\left[V\,S/\left(L^3\right)\right]^{-0.415} \quad (٣,٧٠)$$

وبسبب الطبيعة العملية لهذه المعادلات فيجب استخدام التقديرات فقط للتحليلات الكمية.

مثال رقم (٣,٨): قدر احتمال انجراف الأخدود على منحدر كومة التخلص من المخلفات الصلبة أثناء فترات ١٠ و ٢٠٠ عام من المعالجة. حيث θ تساوي ١٤°، L يساوي ٦٢ م، ومحتوى الطين من مادة المنحدر < ١٥٪، و P تساوي ٠,٥ م/ عام، و C يساوي ٠,٢٠.

الحل:

$S = \tan 14^\circ = 0.25 \qquad , \qquad H = 15\,m$

وباستخدام المعادلات رقم (٣,٦٣) ورقم (٣,٦٤) فإن:

$A = 224.8\,m^2$

$V(10yr) = 0.20 \times 0.50 \times 10 \times 224.8 = 224.8\,m^3$

$V(200yr) = 4496\,m^3$

وباستخدام المعادلة رقم (٣,٦٦):

$G(10yr) = 0.137$

$G(200yr) = 0.31$

obeikandl.com

وباستخدام المعادلة رقم (٣,٦٥):

$$D_{max}(10yr) = 0.137 \times 62 \times 0.25 = 2.12\ m$$

$$D_{max}(200yr) = 0.31 \times 62 \times 0.25 = 4.81\ m$$

وباستخدام المعادلة رقم (٣,٦٩):

$$W(10yr) = 4.18\ m$$

$$W(200yr) = 10.73\ m$$

باستخدام المعادلة رقم (٣,٧٠):

$$D_L(10yr) = 48.4\ m$$

$$D_L(200yr) = 31.67\ m$$

والقيم المقدرة لـ D_{max} هي أن هناك احتمال للتعرض للفقد في المادة المتخلفة.

معادلة عملية لتقدير معدل تقدم ضاغط الأخدود هي (Tompson, 1964):

$$R = 0.0065 A^{0.49} S^{0.14} P^{0.74} E \qquad (٣,٧١)$$

حيث إن:

R = معدل تقدم ضاغط الأخدود لكل وحدة زمن من الفترة الزمنية التي يمثلها متغير كمية المطر P.

P = تجميع أعماق كميات المطر (مم) أثناء فترة التحليل التي ساوت أو تجاوزت ١٢,٧ مم في ٢٤ ساعة.

A = مساحة الصرف فوق ضاغط الأخدود (هكتار).

S = ميل قناة الاقتراب فوق ضاغط الأخدود (٪).

openkandil.com

E = عامل التربة الذي يُعرف على أنه محتوى الطين (أحجام الجزيئات من ٠,٠٠٥ مم أو أصغر) بنسبة الوزن في قطاع التربة الجانبي الذي يحتمل أن يتقدم الضاغط خلاله.

معادلة عملية أبسط مطورة من قبل خدمة المحافظة على التربة هي على الصورة التالية (USDA 1966):

$$R = 0.363\, A^{0.46}\, P^{0.20} \qquad (٣,٧٢)$$

ويمكن أن تختلف المعدلات الناتجة من هذه المعادلات اختلافاً كبيراً. ويجب استخدام الحكم والتحقق بقدر الإمكان لتقدير احتمالية تقدم ضاغط الأخدود ولتصميم القياسات التركيبية أو غير التركيبية لمراقبتها.

تحليل حصيلة الترسبات Sediment Yield Analysis

متوسط حصيلة الترسبات السنوية لحوض صرف المياه يمكن أن يتم تقريبها باستخدام معادلة الفقد في التربة العالمية (USLE):

$$T = 2.243\ R\ K\ LS\ C\ P \qquad (٣,٧٣)$$

حيث إن:

T = الفقد في التربة (طن/ هكتار).

R = معامل سقوط المطر.

K = معامل انجراف التربة.

LS = معامل طول المنحدر.

C = معامل غطاء التربة.

P = معامل وقاية الممارسة.

obeikandl.com

هـذه المعـاملات يمكـن تقـديرها مـن الجـداول والمنحنيـات البيانيـة المنـشورة (Barfield *et al.* 1981; USEPA 1977).

وقد تم أيضاً تطوير التعبيرات العملية لتقدير بعض من هذه المعاملات. ولتقدير متوسط الفقد السنوي في التربة:

١- في المناطق التي تكون عاصفة النوع١ قابلة للتطبيق (انظر "عمق ومدة المطر التصميمي" في الفصل الثاني):

$$R = 0.0134\ P_{2.6}^{\ 2.2} \qquad (٣,٧٤)$$

٢-في المناطق التي تكون عاصفة النوع٢ قابلة للتطبيق:

$$R = 0.0219\ P_{2.6}^{\ 2.2} \qquad (٣,٧٥)$$

حيث إن:

$P_{2.6}$ = تساقط عاصفة سنتين، ست ساعة (مم).

لتقدير الفقد في التربة نتيجة عاصفة منفرد:

١- في المناطق التي تكون عاصفة النوع١ (انظر "عمق ومدة المطر التصميمي" في الفصل الثاني) قابلة للتطبيق:

$$R = 0.0122\ P^{2.2} / D^{0.6065} \qquad (٣,٧٦)$$

٢- في المناطق التي تكون عاصفة النوع٢ قابلة للتطبيق:

$$R = 0.0156\ P^{2.2} / D^{0.4672} \qquad (٣,٧٧)$$

حيث إن:

P = تساقط العاصفة الكلي (مم).

D = مدة العاصفة (ساعة).

opeikandl.com

إن قيم K لأنواع مختلفة من الترب في مناطق مختلفة يمكن الحصول عليها من المكاتب المحلية ومكاتب الولاية لخدمة المحافظة على المصادر المائية. والقيم النموذجية موضحة في الجدول رقم (٣.١٩) (SCS 1978; Barfield *et al.* 1981):

$$LS = (\lambda / 22.13)^m \left[(430\,x^2 + 30\,x + 0.43)/6.613\right] \qquad (٣,٧٨)$$

حيث إن:

$\sin\theta = x$.

θ = زاوية ميل الأرض.

λ = طول الميل (م).

$m = 0.2$ إذا كانت $x \le 0.01$.

$= 0.3$ إذا كانت $0.01 < x \le 0.03$.

$= 0.4$ إذا كانت $0.03 < x \le 0.05$.

$= 0.5$ إذا كانت $0.05 < x \le 0.12$.

$= 0.6$ إذا كانت $0.12 < x$ (USEPA 1980).

الجدول رقم (٣,١٩). القيم النموذجية لمعامل انجراف التربة K.

نوع التربة	k
طميية لومية، طميية طينية لومية، رملية لومية ناعمة جداً	٠,٣٧
طينية، طينية لومية، لومية، طينية طميية	٠,٣٢
رملية لومية ناعمة، لومية رملية ناعمة جدا، رملية لومية	٠,٢٤
لومية رملية ناعمة، لومية رملية	٠,١٧
رملية	٠,١٥

المصدر: SCS (1978).

obeikandi.com

عادة تختلف قيمة C من ٠.٠٠٣ لحوالي ٩٥ إلى ١٠٠٪ من أغطية الأرض مع مسح إلى ١.٠ في لعدم وجود غطاء أرضي، و P تساوي ١.٠ عندما لا تتخذ أي ممارسات للمحافظة على التربة أو لأي من استخدامات التربة الأخرى غير المزروعة بالمحاصيل. وفي حالة المحاصيل الكنتورية يمكن أن تختلف قيمة P من ٠.٥٠ لميول الأرض في حدود من ٢ إلى ٧٪ إلى ١.٠ لميول الأرض في حدود من ٢٥ إلى ٣٠٪ (USEPA 1977). وقد يتم تخصيص نسخة مبرمجة معدلة من معادلة الفقد في التربة على أنها المعادلة العالمية المعدلة للفقد في التربة (RUSEL). والمعادلة الأساسية هي نفسها USLE (المعادلة العالمية للفقد في التربة). أما المعادلة العالمية المعدلة للفقد في التربة فهي نموذج لعملية مجمعة تعتمد على تحليل كميات كبيرة من البيانات التجريبية لتحديد العوامل المختلفة للمعادلة العالمية المعدلة للفقد في التربة. وهي تشمل طرقاً تفصيلية لحساب العوامل مثل عامل إدارة الغطاء C للحالة التي تكون فيها البيانات التجريبية غير كافية لتحديد هذه المعاملات (Renard *et al.* 1991; Foster *et al.* 1996).

يمكن استخدام المعادلة العالمية المعدلة للفقد في التربة MUSLE لتقدير الفقد في التربة أثناء حدوث العاصفة (Williams 1975):

$$Y = 11.79\ (Q\ q)^{0.56}\ K\ LS\ C\ P \qquad (٣,٧٩)$$

حيث إن:

Y = الفقد في التربة (طن).

Q = حجم الجريان السطحي أثناء العاصفة (م٣).

q = أعلى قيمة للتصرف (م٣/ ث).

يمكن أن لا تصل كل تلك الترسبات المقدرة باستخدام المعادلة العالمية للفقد في التربة USLE أو المعادلة العالمية المعدلة للفقد في التربة MUSLE إلى الجريان السطحي

لسطح التيار المنصرف من حوض السد بسبب الترسيب على طول مسار السريان البري من موقع انجراف الترسبات إلى التيار. ولتقدير صافي كمية الترسبات التي تصل التيار فإن التقديرات المذكورة أعلاه يجب أن تضرب في نسبة تسلم الرواسب SDR (USEPA 1988A):

$$SDR = 0.77\ L_d^{-0.22} \quad (٣,٨٠)$$

حيث إن:

L_d = مسافة السريان البري (م).

والمعادلة البديلة لنسبة تسليم الرواسب SDR هي (USACE 1989):

$$SDR = 0.30\ A^{-0.2} \quad (٣,٨١)$$

حيث إن:

A = مساحة الصرف (كم٢).

وبسبب الطبيعة الذاتية لمعاملات كل من المعادلة العالمية للفقد في التربة USLE والمعادلة العالمية المعدلة للفقد في التربة MUSLE ونسبة تسلم الرواسب SDR، فإنه يجب التحقق من معقولية التقديرات عن طريق طرق عديدة بديلة بقدر الإمكان عن طريق القياسات الحقلية. وأحد الطرق البديلة هي استخدام معادلة دندي-بولتون (USACE 1989):

$$T = 101.25\,R^{0.46}\left[1.54 - 0.26\log A\right] \quad (٣,٨٢)$$

إذا كانت R أقل من أو تساوي ٥٠,٨ مم.

$$T = 685.883\left[\exp(0.002165\,R)\{1.54 - 0.26\log A\}\right] \quad (٣,٨٤)$$

إذا كانت R أكبر قل من ٥٠,٨ مم.

openkanar.com

حيث إن:

T = حصيلة الترسبات (طن/ كم٢/ سنة).

R = متوسط الجريان السطحي السنوي (مم).

ويمكن الحصول على قيم R من (Gerbert *et al.* 1989) أو من سجلات تدفق المجاري المائية القريبة المنشورة من قبل هيئة المسح الجيولوجي لبيانات مصادر المياه بالولايات المتحدة كل عام.

وقد تم تطوير نماذج الحاسب مثل (Wilson *et al.* 1984) SEDIMOT-2 لتقدير المنحنيات المائية للجريان السطحي للعاصفة وحصيلة الترسبات من حوض الصرف باستخدام المعادلة العالمية للفقد في التربة USLE أو المعادلة العالمية المعدلة للفقد في التربة MUSLE ونسبة تسلم الرواسب SDR وللقيام بتخطيط المنحنيات المائية للجريان السطحي والرواسب خلال حوض الترسيب. وتقدر هذه النماذج الترسبات في حوض الترسيب اعتماداً على حجم الحبيبات وسرعة سقوط الرواسب المنجرفة من حوض الصرف وزمن المعالجة في حوض النهر وتقوم بحساب حمل الرواسب في التدفق.

والمعادلة العملية لتقدير كمية الترسبات التي تصل إلى حوض السد هي (USBR 1987):

$$Q_s = 1098\ A^{-2.4} \qquad (٣,٨٤)$$

حيث إن:

Q_s = حصيلة الرواسب (م٣/ كم٢/ السنة).

ولاستخدام هذه المعادلة للتحقق من التقديرات اعتماداً على المعادلة العالمية للفقد في التربة أو معادلة دندي- بولتون، فيجب أن تزداد قيمة Q_s بحوالي ٥ إلى ٢٥٪

لحساب انتقال حمل القاع (USBR 1987; Simons and Sentruk 1976)، وعن طريق معكوس نسبة تسلم الرواسب لتقدير الفقد في التربة من حوض الصرف.

وطريقة أخرى تقريبية للتحقق من مدى صحة هذه التقديرات هي استخدام بيانات تدفق التيار وحمل الرواسب المتاحة من مواقع أخرى في المجرى المائي أو مجرى مائي أخر له نفس خصائص انتقال الرواسب والسريان. ويتم تسجيل التصرف اليومي الملاحظ (م٣/ ث) وحمل الرواسب المعلقة (طن/ اليوم) في أوراق السجلات. ويتم رسم خط مستقيم مناسب خلال النقاط المرسومة. هذا الخط المستقيم أو معادلته يمكن أن يستخدم لتقدير الحمل المعلق من الترسبات اليومية المعروفة في الموقع موضع الاهتمام. ولاستخدام هذه الطريقة للتحقق من مدى صحة التقديرات السابقة فإنه يجب ضبط الحمل المعلق المقدر لحمل القاع (مضروباً في ١,٠٥ إلى ١,٢٥) ومقسوماً على نسبة تسلم الرواسب. وإذا لم تكن البيانات التي تخص الموقع متاحة فإنه يجب عمل تقديرات أولية باستخدام طرق تقريبية عديدة وقيم معقولة مختارة عن طريق الحكم.

مثال رقم (٣,٩): حمل الراسب المعلق المقاس يومياً وتدفقات المجرى المائي المناظرة لمجرى مائي موضحة في الجدول رقم (٣,٢٠). ويقدر حمل القاع بحوالي ٥ ٪ من الحمل المعلق وتقدر نسبة تسليم الرواسب بحوالي ٠,١٨. احسب حصيلة الرواسب من حوض الصرف أثناء فترة ذوبان الجليد عندما يكون متوسط تدفق التيار ٠,٢٥م٣/ ث.

الحل:

انحسار لوغاريتمات Q_s (طن/ اليوم) و Q (ل/ ث) كمتغيرات غير مستقلة ومستقلة على الترتيب تعطي:

$$\log Q_s = -4.182 + 1.783 \log(Q)$$

أو

$$Q_s = 0.0000658\ Q^{1.783} \quad , \quad r^2 = 0.72$$

لكل Q تساوي ٢٥٠ ل/ ث فإن Q_s تساوي ١,٢٤ طن/ يوم.

وبالتكيف مع حمل القاع (أي بالضرب في ١,٠٥) ولنسبة تسليم الرواسب (أي بالقسمة على ٠,١٨) تعطي متوسط حصيلة الرواسب التقريبية من حوض الصرف بحوالي ٧,٢٣ طن/ يوم. ويجب التحقق من هذا عن طريق التقديرات التي تم الحصول عليها بالطرق الأخرى.

والمعادلة التقريبية لتقدير سعة انتقال الرواسب للمجرى المائي (Johnson 1999 ; Simon *et al.* 1981):

$$q_s = \left[(3.281)^{b+c-2} \right]\ a\ D^b\ V^c \qquad (٣,٨٥)$$

حيث إن:

q_s = معدل انتقال الرواسب (م²/ ث).

D = متوسط عمق السريان (م).

V = السرعة المتوسطة (م/ ث).

a, b, c هي المعاملات الموضحة في الجدول رقم (٣,٢١).

ويمكن أن تكون المعادلة رقم (٣,٨٥) قابلة للتطبيق لرقم فرود من ١ إلى ٤، وسرعة V من ١,٩٨ إلى ٧,٩٢ م/ ث، وميل القاع من ٠,٠٠٥ إلى ٠,٠٤٠، و d_{50} من ٠,٠٢٦ إلى ١٥ مم.

obeikandl.com

الجدول رقم (٣,٢٠). بيانات حمل الرواسب المعلقة وتدفق التيار.

Q (l/s)	Q_s (t/d)	Q (l/s)	Q_s (t/d)	Q (l/s)	Q_s (t/d)	Q (l/s)	Q_s (t/d)	Q (l/s)	Q_s (t/d)
٧٠,٧٨	٠,٠٢	١١٠١,٤٠	٩٥,٢٦	٦٧,٩٥	٠,١٣	٧٣,٦١	٠,١١	٣٦,٨١	٠,١٥
٧٠,٧٨	٠,٠٤	٥٤٣,٦٠	٢,٥٤	٧٠,٧٨	٠,٠٢	٧٠,٧٨	٠,٣٤	٤٥,٣٠	٠,٢٢
٧٠,٧٨	٠,٠٢	٢٠٦,٦٨	١,٥٤	٦٥,١٢	٠,٠٥	٣٦٨,٠٧	١,٨١	٤٢,٤٧	٠,٠٧
٥٠,٩٦	٠,١٦	١١٠,٤٢	٠,٩١	١٢٤,٥٨	٠,١١	٦٥,١٢	٠,٤١	٤٥,٣٠	٠,٣٩
٥٣,٧٩	٠,٠١	٨٧,٧٧	٠,٢٤	٢٦٦,١٤	٠,٣٤	٥٦,٦٣	٠,٢٥	٦٥,١٢	٠,٤٤
٥٣,٧٩	٠,٠١	٨٢,١١	٠,١٧	٥٤٠,٧٧	٧,٣٥	٦٥,١٢	٠,٢٠	٨٧,٧٧	٠,٥٣
٧٣,٦١	٠,٠٦	٧٩,٢٨	٠,٠٣	٦٣٧,٠٤	١٢,٧٠	٦٧,٩٥	٠,٠٦	٩٣,٤٣	٠,٠٨
١٧٨,٣٧	٠,٢٠	٨٤,٩٤	٠,٠٨	٥٩٧,٤٠	٥,١٧	١١٣,٢٥	٠,١٤	٢٣٥,٠٠	١,١٨
٧٠,٧٨	٠,٤١	٢٦٣,٣١	١,٠٩	٦٥٤,٠٢	٨,٤٤	١٣٠,٢٤	٠,١٥	١٩٨,١٩	٠,٣١
٣١,١٤	٠,١١	٢٣٥,٠٠	٠,٤١	٦٧٩,٥٠	٧,٦٢	٥٦٩,٠٩	٣,٩٩	١٢٧,٤١	٠,٦٨
٤٢,٤٧	٠,١٨	١٢١,٧٤	٠,٢٠	١٠٤٤,٧٠	١٩,٠٥	٣٩٦,٣٨	٠,٥٨	٤٢,٤٧	٠,١٧
١١٣,٢٥	٠,٢٢	٧٠,٧٨	٠,٠٥	٩٥٩,٨٠	١٥,٤٢	١٩٨,١٩	٠,٤١	٣٩,٦٤	٠,١٢
٧٦,٤٤	٠,٣٢	٥٩,٤٦	٠,٠٧	٦٨٥,١٧	٢,٩٠	١٣٣,٠٧	٠,٢٩	٤٢,٤٧	٠,٠٦
٣٦٢,٤٠	١,٧٢	٥٠,٩٦	٠,٩١	٢٦٦,١٤	٠,٨١	٦٥,١٢	٠,٠٧	٤٥,٣٠	٠,٢٨
٢٦٨,٩٧	٠,٣٧	٧٠,٧٨	٠,٠٢	٦٢,٢٩	٠,٠٥	٧٣,٦١	٠,١٥	٩٠,٦٠	٠,٣٣
٧٢,١١	٠,٢٣	٥٦,٦٣	٠,٠٦	٧٩,٢٨	٠,٢٠	٨٢,١١	٠,٠٦	٨٤,٩٤	٠,١٦
٥٦,٦٣	٠,٠٨	٤٢,٤٧	٠,٤٠	٧٠,٧٨	٠,٠٤	١٠٤,٧٦	٠,٠٨	١٣٥,٩٠	٠,٠٨
٥٦,٦٣	٠,٢٧	٥٩,٤٦	٠,٢٢	٧٠,٧٨	٠,٠٢	٢٥١,٩٨	٠,٢٢	٣٤٢,٥٨	٠,٣٣
٥٠,٩٦	٠,١٣	٦٧,٩٥	٠,٠٨	٥٩,٤٦	٠,٠٥	٣١٧,١٠	١٥,٤٢	٢٧٤,٥٨	١,٤٥
٣٣,٩٨	٠,٠١	١١٨,٩١	٠,٤٤	٦٥,١٢	٠,٤٤	٧٣,٦١	٠,٣١	٩٣,٤٣	٠,٣١
٥٣,٧٩	٠,٠٣	٥٩,٤٦	٠,٤٠	١٠٤,٧٦	٠,٠٣	٨٤,٩٤	٠,١٨	٦٥,١٢	٠,١٢
٥٣,٧٩	٠,٠٩	٢٨,٣١	٠,٠٥	٢٠٣,٨٥	٠,٥٤	٥٩,٤٦	٠,٠٥	٥٣,٧٩	٠,٢٠
٣١,١٤	٠,١٨	٣٦,٨١	٠,١٦	٣١٤,٢٧	١,٠٤	٦٧,٩٥	٠,٢١	٤٨,١٣	٠,٣٢
٥٣,٧٩	٠,١٥	٣٩,٦٤	٠,٠٥	٣١١,٤٤	١,١٨	٦٢,٢٩	٠,٠٥	٥٣,٧٩	٠,٠٣
٥٦,٦٣	٠,٤٦	٤٢,٤٧	٠,٠٦	٣١١,٤٤	١,٧٢	٥٩,٤٦	٠,١٤	٥٠,٩٦	٠,١١
١٠٤,٧٦	٠,١١	٥٣,٧٩	٠,٠٢	٨٦٩,٢٠	٩,٩٨	٦٧,٩٥	٠,٠٦	٦٧,٩٥	٠,٤٩

Obeikandi.com

تابع الجدول رقم (٣,٢٠).

Q (l/s)	Q_s (t/d)	Q (l/s)	Q_s (t/d)	Q (l/s)	Q_s (t/d)	Q (l/s)	Q_s (t/d)	Q (l/s)	Q_s (t/d)
٢٠٩,٥١	٠,٢٥	٣٣,٩٨	٠,٠٢	٩٢٢,٩٩	٣١,٧٥	٦٢,٢٩	٠,٠٥	٥١٥,٢٩	٤,٣٥
٤٦٧,١٦	٣,٢٧	٤٨,١٣	٠,٠٥	١٢٢٣,١٠	٩٤,٣٥	٥٣٧,٩٤	٣,٧٢	٢٣٢,١٦	١,٩١
١٨٤,٠٣	٠,٤٦	٣١٩,٩٣	١,٥٤	١٣٣٠,٧٠	١٦,٣٣	٥٤٩,٢٧	٢,٠٠	٤٨,١٣	٠,٢٨
١٢١,٧٤	٠,٢٧	٥٦٦,٢٥	٤,٨١	١٦٤٧,٨٠	١٥٢,٤١	٣١١,٤٤	٣,٦٣	٣٦,٨١	٠,١٨
٦٥,١٢	٠,٠٩	٢٠٩,٥١	٠,٥١	١٨٤٣,٢٠	١٩٥٩,٦٠	٩٩,٠٩	٠,١٥	٥٠,٩٦	٠,٤٤
٦٧,٩٥	٠,١٢	٩٩,٠٩	٠,١٥	١٦١٦,٧٠	٤٧٠,٨٤	٥٦,٦٣	٠,٠٦	٤٥,٣٠	٠,٣٠

الجدول رقم (٣,٢١). معاملات معادلة سعة انتقال الرواسب.

معامل التدرج G ، $G = 0.5\left[(d_{84}/d_{50}) + (d_{50}/d_{16})\right]$			
c	b	a	d_{50} (مم)
		G = 1.0	
٣,٣٠	٠,٧١٥	٣,٣٠ × ١٠$^{-٥}$	٠,١
٣,٦١	٠,٤٩٥	١,٤٢ × ١٠$^{-٥}$	٠,٢٥
٣,٨٢	٠,٢٨٠	٧,٦٠ × ١٠$^{-٦}$	٠,٥
٣,٩٣	٠,٠٦٠	٥,٦٢ × ١٠$^{-٦}$	١,٠
٣,٩٥	-٠,١٤٠	٥,٦٤ × ١٠$^{-٦}$	٢,٠
٣,٩٢	-٠,٢٤٠	٦,٣٢ × ١٠$^{-٦}$	٣,٠
٣,٨٩	-٠,٣٠٠	٧,١٠ × ١٠$^{-٦}$	٤,٠
٣,٨٧	-٠,٣٤٠	٧,٧٨ × ١٠$^{-٦}$	٥,٠
		G = 2.0	
٣,٥٥	٠,٥١٠	١,٥٩ × ١٠$^{-٥}$	٠,٢٥
٣,٧٣	٠,٣٣٠	٩,٨٠ × ١٠$^{-٦}$	٠,٥
٣,٨٦	٠,١٢٠	٦,٩٤ × ١٠$^{-٦}$	١,٠
٣,٩١	-٠,٠٩٠	٦,٣٢ × ١٠$^{-٦}$	٢,٠
٣,٩١	-٠,١٩٦	٦,٦٢ × ١٠$^{-٦}$	٣,٠
٣,٩٠	-٠,٢٧٠	٦,٩٤ × ١٠$^{-٦}$	٤,٠

Obeikandl.com

تابع الجدول رقم (٣,٢١).

معامل التدرج G ، $G = 0.5\left[\left(d_{84}/d_{50}\right)+\left(d_{50}/d_{16}\right)\right]$			
d_{50} (مم)	a	b	c
G = 3.0			
٠,٥	$١,٢١ \times ١٠^{-٥}$	٠,٣٦٠	٣,٦٦
١,٠	$٩,١٤ \times ١٠^{-٦}$	٠,١٨٠	٣,٧٦
٢,٠	$٧,٤٤ \times ١٠^{-٦}$	-٠,٠٢٠	٣,٨٦
G = 4.0			
١,٠	$١,٠٥ \times ١٠^{-٥}$	٠,٢١٠	٣,٧١

المصدر: Johnson (1999).

الانجراف بسبب الرياح Wind Erosion

تقديرات الفقد في التربة والانجراف التي تسببه الرياح تكون مطلوبة لتقييم احتمال تعرض النفايات أو مخلفات التربة التي تحميها أغطية التربة. ويتم التعبير عن الفقد في التربة بالشكل التالي (USDA 1982, 1983b):

$$E = f\left(I, K, C, L, V\right) \qquad (٣,٨٦)$$

حيث إن:

E = المتوسط السنوي للفقد في التربة، طن/ ايكر/ السنة (طن/ هكتار/ السنة).

f = دالة المتغيرات الموضحة.

I = انجراف التربة نتيجة تأثير الرياح، وعادة يعبر عنها بتقسيم التربة إلى مجموعات انجراف بالرياح (WEGs) اعتماداً على أنواع التربة (تربة رملية، تربة رملية طينية، طينية، طميية، كتل طينية، وأحجار).

K = معامل خشونة السطح، يعبر عنه عادة بأس يساوي ١,٠ للسطح الناعم ويساوي ٠,٥ للسطح الخشن.

obeikandl.com

C = المعامل المناخي (معبراً عنه بالنسبة المئوية) الذي يوضع كل شهر لمواقع مختلفة اعتماداً على متوسط سرعة الرياح وأس البخر–التساقط.

L = المسافة غير المحمية، التي يتم الحصول عليها عادةً من المنحنيات البيانية المتاحة للعروض المختلفة لأسطح التربة، والمسافات على طول اتجاه الرياح السائدة، وزوايا اتجاه الرياح السائدة.

V = الغطاء النباتي، والذي يعبر عنه عادةً بدلالة وزن بقايا الحبوب الصغيرة المسطحة لكل وحدة مساحة.

يتم تقدير الغطاء النباتي V من المنحنيات البيانية التي تعبر عن كمية محددة من مجموعة الحبوب المسطحة لمحصول محدد (مثلاً، الذرة السكرية أو القطن أو الذرة) في حقل إلى كمية مساوية من بقايا الحبوب الصغيرة (R) من المحصول السابق. ويجب استخدام المنحنيات البيانية والجداول التي توضع لولايات مختلفة في دراسات محددة. وتكون الملاحظات التقنية، بما فيها هذه المنحنيات البيانية والجداول للولايات المختلفة متاحة من المكاتب المحلية من NRCS (USDA). ولتسهيل تنبؤات الانجراف بسبب الرياح فإن معادلة انجراف الرياح يمكن أن يتم برمجتها أيضاً (مثلاً، USNRC 1982).

مثال رقم (٣,١٠): احسب المعدل السنوي للفقد في التربة نتيجة الانجراف بسبب الرياح لموقع في يومينج حيث WEG (يعكس المعامل I في المعادلة رقم ٣,٨٦) ويساوي ٢، سطح الركام للتلال (يعكس المعامل K)، C يساوي ٣٠٪ (لشهر حرج في مكان الموقع في يومينج)، V تساوي ٥٠٠ رطل/ ايكر (٥٦٠كجم/ هكتار)، L تساوي ٢٨٠٠ قدم (٨٥٣,٤ م). وعادة يكون الشهر الحرج هو الشهر الذي يتوقع فيه حدوث انجراف الرياح والأكثر شدة.

الحل:

إن الجدول رقم (٣,٢٢) يبين قيم E للسطح غير البارز في WEG2 مع C تساوي ٣٠٪ ليومينج. وباستخدام الجدول رقم (٣,٢٢) ليومينج (USDA 1982)، نجد أن E تساوي ٢٦ طن/ ايكر (٥٨,٣ طن/ هكتار) في السنة.

الجدول رقم (٣,٢٢). الفقد في التربة طن/ ايكر (طن/ الهكتار) على السطح غير البارز في يومينج C = 30% ، WEG = 2.

المسافة غير المحمية للحقل على طول اتجاه الرياح السائدة {قدم (م)}	بقايا الحبيبات الصغيرة المسطحة {رطل/ ايكر (كجم/ هكتار)}				
	١٠٠٠ (١١٢٠,٨)	٧٥٠ (٨٤٠,٦)	٥٠٠ (٥٦٠,٤)	٢٥٠ (٢٨٠,٢)	٠ (٠)
١٠٠ (٣٠,٥)	٣,٣ (٧,٤)	٦,٨ (١٥,٢)	١١ (٢٤,٧)	١٤,٥ (٣٢,٥)	١٩ (٤٢,٦)
٢٠٠ (٦١)	٥,٥ (١٢,٣)	١٠ (٢٢,٤)	١٥,٧ (٣٥,٢)	٢٠ (٤٤,٨)	٢٥,٥ (٥٧,٢)
٥٠٠ (١٥٢,٤)	٨,٥ (١٩,١)	١٥ (٣٣,٦)	٢١,٩ (٤٩,١)	٢٧ (٦٠,٥)	٣٣,٥ (٧٥,١)
١٠٠٠ (٣٠٤,٨)	١٠ (٢٢,٤)	١٧ (٣٨,١)	٢٤,٥ (٥٤,٩)	٣٠ (٦٧,٢)	٣٧,٨ (٨٤,٧)
٢٠٠٠ (٦٠٩,٦)	١٠,٦ (٢٣,٨)	١٧,٧ (٣٩,٧)	٢٥,٨ (٥٧,٨)	٣٢ (٧١,٧)	٣٩,٩ (٨٩,٤)
٣٠٠٠ (٩١٤,٤)	١٠,٩ (٢٤,٤)	١٨ (٤٠,٣)	٢٦ (٥٨,٣)	٣٢,٧ (٧٣,٣)	٤٠ (٨٠,٧)
٤٠٠٠ (١٢١٩)	١١ (٢٤,٧)	١٨ (٤٠,٣)	٢٦ (٥٨,٣)	٣٣ (٧٤,٠)	٤٠ (٨٩,٧)
٥٠٠٠ (١,٥٢٤)	١١ (٢٤,٧)	١٨ (٤٠,٣)	٢٦ (٥٨,٣)	٣٣ (٧٤,٠)	٤٠ (٨٩,٧)

المصدر: مقتبس من المنحنيات البيانية المعطاة في (1982) USDA.

تحليل انتقال الرواسب Sediment Transport Analysis

يشمل تحليل انتقال الرواسب تقديرات تسوية الأرض وحرث التربة والترسيب في الأنهار وأحواض الأنهار ويمكن أن يتم أداؤه باستخدام نماذج الحاسب مثل نموذج HEC-6 (USACE 1991d). ومدخلات هذا النموذج يشمل التالي:

١- المنحنيات المائية للسريان في القناة الرئيسة والقنوات الفرعية.

٢- القطاعات العرضية للقناة مع معاملات الخشونة والتصرفات عند كل منها، بما يشبه نماذج HEC-2 و HEC-RAS (USACE 1991c, 1998).

٣- توزيع حجم حبيبات مادة القاع عند كل قطاع عرضي.

٤- الأحمال المعلقة من الماء المتدفق في القناة الرئيسة والقنوات الفرعية وتوزيعات أحجام حبيباتها.

في معظم الحالات الميدانية لا تكون البيانات التفصيلية الخاصة بالموقع متاحة وبيانات الداخل للموقع يجب أن تمثل اعتماداً على البيانات المحدودة والحكم. وفي بعض الحالات يجب عمل التقديرات الأولية بالبيانات المحدودة إذا كانت الرواسب الملوثة التي انجرفت من الموقع سوف تصل إلى موقع المصب في اتجاه التيار أو استقرت غالباً في التيار الذي يصل لمنبع النهر في هذا الموقع. والخطوات الحسابية لمثل هذه التحليلات التمهيدية تشمل التالي:

١- احسب السرعة القصوى والمتوسطة والدنيا للسريان، وأعماق الماء المتاحة في الدراسة.

٢- احسب متوسط d_{15}, d_{50}, d_{95} للرواسب التي يحتمل أن تنجرف من الموقع.

٣- احسب سرعة السقوط لجزيئات معلومة الأحجام من المنحنيات البيانية (مثلاً، usbr 1971) أو باستخدام معادلة روبي (Low 1989):

$$\omega = \left[\left\{ (2/3) g \left(G_s - 1\right) d^3 + 36 \nu^2 \right\}^{0.5} - 6 \nu \right] / d \qquad (٣,٨٧)$$

حيث إن:

ω = سرعة سقوط الجزيئات (م/ ث) ذات القطر d (م).

ν = اللزوجة الكينيماتيكية (م٢/ ث).

G_s = الكثافة النوعية للجزيئات.

٤- احسب مسافات الانتقال الأقل والمتوسطة والقصوى L (م) لجزئ قطره d (م)، باستخدام العلاقة:

$$L \cong DV / w$$

حيث إن:

D = متوسط عمق الماء (م) في متناول الدراسة.

V = سرعة السريان (م/ ث).

مثال رقم (٣,١١): إن أقصى سرعة وعمق للسريان في مجرى مائي يتدفق في موقع ملوث تقدر بأن تكون ١,٥٢ م/ ث و ٤,٦ م على الترتيب. ومتوسط القطر d_{15} من الرواسب الملوثة حوالي ٠,٠٥ مم. لخزان ماء موضوع على بعد ٦ كم من الموقع، استنتج إذا كانت أي نسبة ذات أهمية من الرواسب الملوثة يحتمل أن تصل إلى الخزان. مع العلم بأن G_s تساوي ٢,٦٥، و ν تساوي ١,١٣١×١٠^-٦^ م٢/ ث.

الحل:

$$w = \left[\sqrt{\left\{ (2/3) \times 9.81 \times 1.65 \times (0.00005)^3 + 36 \times (0.000001131)^2 \right\}} - 6 \times (0.000001131) \right] / 0.00005 = 0.00197 \ \text{m/s}$$

openkanan.com

$$L(max) = 4.6 \times 1.52/(0.00197) = 3550 \text{ m}$$

هذا يعني أن احتمال أن تصل للخزان أي نسبة ذات أهمية من الرواسب الملوثة مستبعد.

وللتحكم في كمية الرواسب التي تنقل عن طريق المجرى المائي من العوالق التي تصل في اتجاه مصب التيار فإنه يتم الاستعانة بأحواض الترسيب. ويتم نقل جزء رئيس من حمل الرواسب السنوي أثناء حدوث العاصفة ويمكن بإنشاء أحواض الترسيب إضعاف شدة الفيضان وحجز الرواسب أثناء حدوث العاصفة باستخدام نماذج الحاسب مثل SEDIMOT-2 (Wilson *et al.* 1984).

ويمكن الحصول على تقدير تمهيدي من كفاءة حجز حوض الترسيب للرواسب متوسطة القطر d (م)، باستخدام المعادلة العملية (USBR 1971; Barfield *et al.* 1981; Vetter 1940).

$$W/W_0 = \exp(-\omega L/q) = \exp(-\omega A/Q) \qquad (٣,٨٨)$$

حيث إن:

W_0 = وزن الرواسب الداخلة إلى الحوض (كجم).

W = وزن الرواسب الخارجة من الحوض (كجم).

L = طول الحوض (م).

w = سرعة سقوط (م/ ث) للجزيئات ذات القطر d (م).

q = التسرب لكل متر عرض من الحوض ($م^٢$/ ث).

A = مساحة سطح الحوض ($م^٢$).

Q = التصرف الداخل للحوض أو الخارج منه ($م^٣$/ ث).

obeikandl.com

ومن المتطلب للترسيب أو أحواض الترسيب أن تحجز الرواسب التي تنقل عن طريق الماء المنصب على أساس مستمر (في أحواض الترسيب يكون مطلوباً حجز الرواسب من الماء المستخدم لأنظمة إعادة ملء المياه الجوفية أو أنظمة إعادة تدوير المياه للمباني الصناعية). مثل هذه الأحواض يمكن أن تحدد أحجامها باستخدام المعادلة التالية (USBR 1971; Johnson 1999):

$$P = \left[\left(1 - \exp\left(-X\right)\right)\right] \quad \text{(٣,٨٩أ)}$$

$$X = \left(1.055\, L\, w\right)/\left(V \times D\right) \quad \text{(٣,٨٩ب)}$$

حيث إن:

P = نسبة الرواسب ذات القطر d (م) التي ترسب على طول الحوض.

V = متوسط سرعة السريان في قناة التصريف (م/ ث).

w = سرعة سقوط (م/ ث) للجزيئات ذات القطر d (م).

D = عمق الماء في الحوض (م).

مثال رقم (٣,١٢): احسب حجم حوض الترسيب لقناة تحمل تصرف ٦,٥ م^3/ ث مع متوسط سرعة سريان ٠,١٥م/ ث ومتوسط حمل الرواسب السنوية ٢٠٠٠٠م^3/ سنة، وتوزيع حجم جزيئات الرواسب موضحة في الجدول رقم (٣,٢٣). استخدم G_s تساوي ٢,٦٥، و v تساوي ٠,٩٤×١٠$^{-6}$ م^2/ ث.

الحل:

في المحاولة الأولى، بفرض أن للحوض:

$$L = 300\,\text{m} \quad , \quad D = 3\,\text{m}$$

فإن

$$X = 1.055\left(300\,\omega\right)/\left(0.45\right) = 703\,\omega$$

الجدول رقم (٣,٢٣). توزيع حجم الجزيئات لحمل الرواسب السنوي.

النعومة (٪)	قطر الجزيئات (مم)
١٠٠	٠,٥
٩٨	٠,٢٥
٨٣	٠,١٢٥
٤٦	٠,٠٦٢
٣٣	٠,٠٣١
٢٢	٠,٠١٦
١٣	٠,٠٠٨
٧	٠,٠٠٤

وحسابات كفاءة حجز حوض الترسيب موضحة في الجدول رقم (٣,٢٤). ومنها كفاءة حجز الحوض تساوي:

$$13181/20000 = 0.66$$

وإذا كان الحوض معداً ليتسع لسنة واحدة من حمل الرواسب فقط مع عمق راسب قدره ٠,٣ م، فإن متوسط عرضه هو:

$$13181/(300 \times 0.3) = 146\ \text{m}$$

إذا حجم هذا الحوض غير مقبولاً ويجب إعادة الحسابات لقيم أخرى من L .

obeikandl.com

الجدول رقم (٣,٢٤). حسابات كفاءة الحجز.

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)
D (مم)	الجزء في حمل الرواسب للكل	ω (مم/ ث)	$x = 703\,\omega$	$P = 1 - e^{-x}$	متوسط P	معدل الرواسب المتدفقة (م³/ سنة) (٢)×٢٠٠٠٠	معدل الترسيب (م³/ سنة) (٦)×(٧)
٠,٥		٠,٠٦١٩	٤٣,٥٢	١,٠			
	٠,٠٢				١,٠	٤٠٠	٤٠٠
٠,٢٥		٠,٠٣٠٥	٢١,٤٤	١,٠			
	٠,١٥				١,٠	٣٠٠٠	٣٠٠٠
٠,١٢٥		٠,٠١١٦	٨,١٥	٠,٩٩٩٧			
	٠,٣٧				٠,٩٦	٧٤٠٠	٧١٠٤
٠,٠٦٢		٠,٠٠٣٦	٢,٥٣	٠,٩٢			
	٠,١٣				٠,٦٩	٢٦٠٠	١٧٩٤
٠,٠٣١		٠,٠٠٠٨٨	٠,٦١٩	٠,٤٦			
	٠,١١				٠,٣٠٦	٢٢٠٠	٦٧٣
٠,٠١٦		٠,٠٠٠٢٣٥	٠,١٦٥	٠,١٥٢			
	٠,٠٩				٠,٠٩٦	١٨٠٠	١٧٣
٠,٠٠٨		٠,٠٠٠٠٥٨	٠,٠٤٠٨	٠,٠٤			
	٠,٠٦				٠,٠٢٥	١٢٠٠	٣٩
٠,٠٠٤		٠,٠٠٠٠١٤٦	٠,٠١٠٣	٠,٠١٠٢			
	٠,٠٧				٠,٠٠٥	١٤٠٠	٧
المجموع	١,٠					٢٠٠٠٠	١٣١٨١

obeikandl.com

تشتت القناة المفتوحة Open-Channel Dispersion

التشتت قرب الحقل Near-Field Dispersion

تحليل التشتت ومنطقة الخلط يكون مطلوباً لتقييم أثار تصرف المادة الملوثة في المجاري المائية خلال المصادر المرحلية وغير المرحلية. ولتصرفات منفردة المصدر فإنه يمكن إجراء مثل هذه التحليلات باستخدام نماذج CORMIX (USEPA 1996a). ويشمل التشتت قرب الحقل التخفيف الناتج عن التصرفات خلال النافورات والرذاذات والتي تتأثر بكمية الحركة وقابلية طفو تصرف النافورة وشكل مخرج التصريف. والخطوات الحسابية للتحليل التمهيدي للنافورات الأفقية الدائرية البسيطة التي تشبه مخرج الأنبوب هي كما يلي (Fischer *et al.* 1979):

- احسب معدل تدفق كمية حركة النافورة (م٤/ ث٢):

$$M = Q\ V_j \tag{٣,٩٠}$$

- احسب الطول المميز l_c (م):

$$l_c = Q/M^{1/2} \tag{٣,٩١}$$

- احسب السرعة القصوى عند مسافة x من فتحة النافورة:

$$w_m = 7\,M\,l_c/(Q\,x) \tag{٣,٩٢}$$

- احسب :

$$C_m/C_0 = 5.6\,l_c/x \tag{٣,٩٣}$$

- احسب التخفيف المتوسط (s_{mean}) عند مسافة x من فتحة النافورة:

s_{mean} = (حجم الدفق عند مسافة x) ÷ (حجم الدفق عند فتحة النافورة)

$$s_{mean} = \mu/Q = 0.25\,x/l_c \tag{٣,٩٤}$$

حيث إن:

Q = التصرف خلال فتحة النافورة (م³/ ث).

V_j = سرعة النافورة (م/ ث).

μ = حجم الدفق عند مسافة x (م³/ ث).

C_m = التركيز الأقصى عند مسافة x.

C_0 = التركيز الأولي.

وفي حالة فتحة رأسية لمسبب طفو دائري منفرد (كثافة الماء الفائض تكون أقل من كثافة الماء المستقبل) وجد أن التدفق يصبح شبيهاً بريشة عند مسافة قصيرة من فتحة النافورة. الخطوات الحسابية للتحليل التمهيدي هي (Fischer *et al.* 1979) كالتالي:

• احسب كمية حركة دفق النافورة (م⁴/ ث²):

$$M = QV_j \qquad (٣,٩٠)$$

• احسب الطول المميز l_c (م):

$$l_c = Q/M^{1/2} \qquad (٣,٩١)$$

• احسب الطول المميز للنافورة الطافية:

$$l_m(m) = M3/4/\sqrt{B} \qquad (٣,٩٥)$$

• احسب معدل تدفق النافورة الطافية:

$$B = [(\rho_a - \rho)/\rho]g\,Q \qquad (٣,٩٦)$$

حيث إن:

ρ_a = كثافة الماء المستقبل.

ρ = كثافة الانبثاق.

obeikandl.com

لكل $y << l_m$، حيث إن y = عمق الماء فوق الثغر، يكون التدفق شبيهاً بالريشة.

ولكل $y >> l_m$، يكون التدفق شبيهاً بالنافورة.

• احسب رقم ريتشاردسون R_0، للنافورة الدائرية:

$$R_0 = l_c / l_m = Q\sqrt{B/M^{5/4}} \qquad (٣,٩٧)$$

• احسب العمق اللابعدي:

$$\xi = 0.25\left(y/l_c\right)\left(R_0/0.557\right) \qquad (٣,٩٨)$$

• إذا كانت $y > l_m$ احسب حجم الدفق في الريشة على عمق y فوق الفتحة:

$$\bar{\mu} = \xi^{5/3} \qquad (٣,٩٩)$$

• إذا كانت $y < l_m$ احسب حجم الدفق في النافورة على عمق y فوق الفتحة:

$$\bar{\mu} = \xi \qquad (٣,١٠٠)$$

• احسب التخفيف المتوسط على عمق y :

$$\mu/Q = \bar{\mu}\left(0.557/R_0\right) \qquad (٣,١٠١)$$

تتكون الراذاذات متعددة الفتحات من فتحات عديدة على مسافات متقاربة. وتميل تصرفات الماء الفائض من خلال هذه الفتحات إلى أن تتداخل لتكون ريشة رأسية خلال مسافة من مواقع الفتحات. خطوات أداء التحليل التمهيدي للتخفيف في الريشة هي (Fischer *et al.* 1979) كما يلي:

• احسب التصرف q، لكل وحدة طول من الرذاذة، وتركيز المادة الملوثة الأولي C_0، فوق هذا الماء المستقبل، وكثافة الماء المنصرف ρ_a، وكثافة الماء المستقبل ρ (كجم/ م٣):

$$\Delta\rho = \rho_a - \rho \quad , \quad g' = g\Delta\rho/\rho$$

• احسب:

$$(C-C_0)/(C_0-C_a)=2.63\,q^{2/3}/\left(g'^{1/3}\,y\right) \quad (٣,١٠٢)$$

حيث إن:

C = التركيز المخفف عند ارتفاع y فوق فتحات الرذاذة.

C_a = التركيز الخلفي في المياه المحيطة.

وفي الحالات التي لا يمكن عمل تحليل الرذاذات متعددة الفتحات، فإن مصدر المستوى الرأسي لتحليل التشتت الموقع البعيد يمكن افتراضه مساوياً لطول الرذاذة L، وارتفاع يساوى ٣٠٪ من عمق الرذاذة (Chin 1985).

تشتت الحقل البعيد Far-Field Dispersion

يشمل تشتت الحقل البعيد التخفيف الناتج عن التدفق خلال الاضطراب في القناة بعيداً عن مخرج التصريف حيث لا تكون كمية حركة الانبثاق كبيرة. وتشمل بعض نماذج محاكاة جودة المياه في الأنهار والخزانات QUAL2E (USEPA 1987a) و(WQRRS (USACE 1987 و WASP4 (USEPA 1988b). ولأجل التحليل التمهيدي لتشتت الملوثات المنطلقة في المجرى المائي، فإن معادلات تحليلية تقريبية أبسط، أو معادلات شبه تحليلية، يمكن أن تكون مفيدة. وبشكل عام فإن الوكالات المنظمة هي التي تحدد منطقة خلط حادة أو مزمنة لمنطقة المياه السطحية والتي لا يتم فيها تطبيق مقاييس جودة الماء. وهي منطقة المياه السطحية في اتجاه مصب التيار من نقطة تصرف الماء الفائض حيث يحدث الخلط الفيزيائي في كل الاتجاهات حتى تحقق المكونات في تصرف التركيز المنتظم في الماء المستقبل. ويفترض حدوث الخلط الكامل عند القطاع العرضي في المجرى المائي حيث تكون التركيزات عند كل النقاط في القطاع العرضي

ضمن ٥٪ من القيمة المتوسطة للقطاع العرضي. ومعظم مقاييس جودة المياه تحدد استخدام متوسط التدفق المنخفض سبعة أيام وعشر سنوات (7Q10) لتقييم الآثار المتعلقة بجودة المياه على سطح الماء. ويجب الحفاظ على حجم منطقة الخلط عند الحد الأدنى ويجب أن تسمح بالممر الآمن وحماية وانتشار الكائنات المائية. وبالإضافة لذلك فإن التلوث في منطقة الخلط يجب ألا يكون ساماً بشكل كبير. ولنقطة مصدر ما فإن طول الخلط L_{mix} يمكن أن يقدر عن طريق (Fischer *et al.* 1979):

$$L_{mix} = 0.1\,u\,W^2/D_y \quad \text{(للخلط الكامل)} \qquad (٣,١٠٣)$$

إذا كان المصدر يقع عند منتصف القطاع العرضي للمجرى المائي، أو عن طريق:

$$L_{mix} = 0.4\,u\,W^2/D_y \quad \text{(للخلط الكامل)} \qquad (٣,١٠٤)$$

إذا كان المصدر يقع على ضفة المجرى المائي.

حيث إن:

u = سرعة السريان.

W = عرض المجرى المائي.

D_y = معامل التشتت الجانبي.

وموضح في التالي ثلاث نماذج تحليلية لمحاكاة تشتت الحقل البعيد في المجاري المائية. أول هذه النماذج يستخدم (Prakash 1977, 1999):

$$C\ (x,y,z)/C_0 = \left[Q_0/\left\{4\ (z_2 - z_1)\sqrt{(\pi\ x\ u\ D_y)}\right\}\right]$$
$$\sum\sum\left[\left\{\text{erf}\ (E1) - \text{erf}\ (E2)\right\}\ \left\{\exp\ (E3)\right\}\right] \qquad (٣,١٠٥أ)$$

حيث إن:

$$E1 = \left[z - m\,D - (-1)^m z_1\right]/\left[\sqrt{(4\,D_z\ x/u)}\right] \qquad (٣,١٠٥ب)$$

$$E2 = \left[z - m\,D - (-1)^m z_2\right]/\left[\sqrt{(4\,D_z\ x/u)}\right] \qquad (٣,١٠٥ج)$$

$$E3 = -\left[y - n\,W - (-1)^n\,y_0\right]^2 / \left[\left(4\,D_y\,x/u\right)\right] \qquad (\text{د٣,١٠٥})$$

حيث إن:

$erf(x)$ = دالة الخطأ لـ x .

$\sum$ (الأولى) من $m = \infty$ إلى $-\infty$

$\sum$ (الثانية) من $n = -\infty$ إلى ∞

$C(x, y, z)$ = التركيز عند النقطة (x, y, z) .

C_0 = تركيز المصدر.

Q_0 = معدل تصرف الماء الملوث.

D_z, D_y = معاملات التشتت العرضي والرأسي على الترتيب.

D = عمق السريان.

z, y, x = المسافات في الاتجاهات الطولية والعرضية والرأسية على الترتيب عن نقطة الأصل في منتصف القناة.

z_2, z_1 = الإحداثيات الرأسية لمصدر الخط الرأسي.

y_0 = الإحداثي y عند النقطة حيث يقع مصدر الخط الرأسي.

ويمثل تيار قناة المصدر بمتوسط القطاع العرضي المكافئ للمستطيل. ويفترض في القاع والضفتين وسطح الماء في القناة ألا يكون لها حدود للسريان. وأثار هذه الحدود تعلل عن طريق استخدام طريقة الصور. وفي حالة النقل في حالة السريان المستقر يتم إهمال تأثير التشتت الطولي. ويفترض أن يكون السريان في اتجاه التيار منتظماً ومستقراً، وتأثير التيارات الثانوية يفترض أن يعلل لها عن طريق معامل التشتت العرضي.

obeikandi.com

وتكون المعادلة رقم (٣,١٠٥ أ) قابلة للتطبيق في مصدر الخط الأسي الذي يقع عند x تساوي صفر، حيث x تكون موجبة في اتجاه مصب التيار. وإذا كان المصدر سطحاً رأسياً له طول محدد L، يوازي اتجاه السريان (اتجاه x)، فإنه يفترض أن يتكون من عدد من المصادر الرأسية ذات أطوال متناهية الصغر موضوعة بالقرب من بعضها البعض. ويتم الحصول على تأثير هذه المصادر الرأسية عن طريق التراكم الخطي:

$$C'(x, y, z, L) = \sum C(x + i\,\Delta x, y, z) \qquad (٣,١٠٦)$$

حيث إن:

$C'(x, y, z, L)$ = التركيز عند النقطة (x, y, z) الناتج عن مصدر السطح الرأسي بالطول المحدد، L.

$C(x + i\,\Delta x, y, z)$ = التركيز عند $(x + i\,\Delta x, y, z)$ الناتج عن مصدر الخط الرأسي الذي يقع عند $x = 0$، والمعطى في المعادلة رقم (٣,١٠٥ أ) مع استبدال Q_0 بالقيمة Q_0 / N.

Δx = الطول متناهي الصغر للمصدر الأسي = L / N.

N = عدد المصادر الرأسية بالطول المتناهي الصغر والذي يقسم فيها طول المصدر L.

وفي حالة تصرف مصدر نقطة مستمر، فإن معادلة التشتت الحملي في السريان المنتظم في الحالة المستقرة (التأفق) في الاتجاه الطولي (أي على طول اتجاه تدفق النهر) تصبح:

$$C\,(x, y, z)/(C_0\,Q_0) = \left[1/4\,\pi\,x\sqrt{(D_y\,D_z)}\right]$$
$$\left[\exp\,(-\lambda\,x/u)\right]\sum\sum \exp\left[-\left(y - n\,B - (-1)^n\,y_0\right)^2/\left(4\,D_y\,x/u\right)\right]\times$$
$$\exp\left[-\left\{z - m\,D - (-1)^m\,z_0\right\}^2/\left(4\,D_z\,x/u\right)\right] \qquad (٣,١٠٧)$$

حيث إن:

C_0 = التركيز في التصرف عند مخرج التصريف.

Q_0 = معدل التصرف المتسرب للمخرج.

$C(x, y, z)$ = التركيز عند النقطة (z, y, z).

D_y = معامل التشتت العرضي.

u = السرعة.

D_z = معامل التشتت الرأسي.

λ = معامل التحلل (طن^-١).

y_0 = الإحداثي y لمصدر النقطة أو مخرج التصريف.

z_0 = الإحداثي z لمصدر النقطة أو مخرج التصريف.

x = مسافة التيار من مخرج التصريف الذي يقع عند $x = 0$.

$\sum$ (الأولى) من $n = -\infty$ إلى ∞.

$\sum$ (الثانية) من $m = -\infty$ إلى ∞.

تقع نقطة أصل الإحداثيات عند منتصف النهر عند عمق متوسط وعندها x تساوي صفر. وفي حالة الحفاظ على الكتلة في بعض الحالات فإن ١٠٠ حد أو أكثر يجب استخدامها في حسابات المعادلة رقم (٣,١٠٧). وبالتالي ينصح بأداء الحسابات باستخدام برنامج فورتران أو أوراق العمل. ويمكن محاكاة التصرفات من مخارج التصريف العديدة التي تقع عند نقاط متنوعة على ضفاف النهر باستخدام مبدأ التراكم، أي:

$$C(x, y, z, T) = \sum C_i \, Q_i \left[C\{x + i\,\Delta x_i, y, z\} \right] \qquad (٣,١٠٨)$$

حيث إن:

$C(x, y, z, T)$ = التركيز عند النقطة (x, y, z) الناتج عن التصرفات عند مخارج التصريف T.

الرمز السفلي $i = 1$ يشير إلى أبعد مخرج في اتجاه مصب التيار.

$i = 2$ يشير إلى مخرج التصريف التالي عكس اتجاه منبع التيار وهكذا.

Δx_i = مسافة مخرج التصريف رقم i من أبعد مخرج للتصريف في اتجاه مصب التيار.

$C(x + i\,\Delta x_i, y, z)$ = قيمة (الجانب الأيمن) المحسوب من المعادلة رقم (٣,١٠٧) باستخدام $[x + i\,\Delta x_i]$ لـ x.

Σ من $i = 1$ لعدد مخارج التصريف الكلي T.

يمكن استخدام هذا النموذج لتقدير التركيزات عند نقاط مختلفة على طول عرض وعمق النهر عند حافة مصب النهر لمنطقة الخلط. وهذا النموذج يفترض التالي:

١- وجود سريان منتظم مستقر في طرف النهر. ويتضمن افتراض الحالة المستقرة للسريان المستمر من مخارج التصريف. ويتضمن السريان المنتظم قطاع عرضي ثابت في طرف النهر بأكمله. ويقدر متوسط القطاع العرضي للمستطيل التمثيلي لطرف النهر في منطقة الخلط. وعدم انتظام القطاعات العرضية في النهر يمكن أن يحسن التشتت والتخفيف. وبالتالي يمكن أن يكون افتراض القطاع العرضي المنتظم للمستطيل مناسباً.

٢- التدفق في النهر يكون أحادي البعد (على طول مجرى النهر) مع عدم وجود تدفقات ثانوية في الاتجاهات الأخرى. وهذا الافتراض يعد محافظاً أيضاً لأن التدفقات الثانوية تميل إلى تحسين الخلط أو زيادة التشتت العرضي.

النمـوذج التحلـيلي الثـاني لمحاكـاة تـشـتت الحقـل البعيـد في المجـارى المائيـة (USEPA 1987b) يستخدم:

$$C(x, y)/C_0 = \left[1/\sqrt{(4\pi D_y t)}\right]\left[\int \exp(E4)\,dy' + \int \exp(E4)\,dy' + \int \exp(E4)\,dy' + \int \exp(E4)\,dy' + ...\right] \quad (٣,١٠٩)$$

حيث إن:

حدود التكامل الأول والثاني والثالث والرابع من a إلى b، ومن c إلى d، ومن e إلى f، ومن g إلى h، على الترتيب.

$$E4 = -(y - y')^2/(4D_y t)$$

$$a = -B/2 - y_s$$

$$b = B/2 - y_s$$

$$c = -B/2 + y_s$$

$$d = B/2 + y_s$$

$$e = -B/2 - 2W - y_s$$

$$f = B/2 - 2W - y_s$$

$$g = -B/2 + 2W + y_s$$

$$h = B/2 + 2W + y_s$$

$$t = x/u$$

B = طول مصدر الخط الأفقي عبر المجرى المائي.

y_s = المسافة من خط المتـصف في المـصدر إلى ضـفة المجـرى المـائي والـذي يفترض أن يكون عند $y = 0$.

يحاكي هذا النموذج التأفق الطولي فقـط والتـشتت العـرضي ويحـسب داخليـاً معامل التشتت العرضي باستخدام العلاقة:

$$D_y = 0.5\, u_*\, D$$

حيث إن:

$u_* =$ سرعة القص $= \sqrt{(g\,D\,S)}$.

وهو يفترض مصدر الخط الأفقي بالعرض المحدد عبر المجرى المائي ويستخدم طريقة الصور لتعليل أثار حدود القناة. وتمثل كل تكامل في المعادلة رقم (٣,١٠٩) مساهمة صورة المصدر ونمط الصورة الذي يتكرر إلى ما لانهاية.

يحاكى النموذج الثالث (USNRC 1976) مصدر النقطة ويستخدم:

$$C(x,q)/C_0 = (Q_0/Q)\left[1+2\sum\{\exp(E5)\right.$$
$$\left.\cos(n\,\pi\,q_s/Q)\cos(n\,\pi\,q/Q)\ \}\right] \qquad (٣,١١٠)$$

حيث إن:

Σ من 1 إلى ∞.

$$E5 = -\left(n^2\,\pi^2\,D^2\,D_y\,u\,x\right)/Q^2$$

$Q =$ تدفق الكلي للمجرى المائي.

$q =$ تصرف المجرى المائي عند ضفة النهر (يفترض أن يكون عند $y = 0$) إلى مسافة y حيث يتم حساب $C(x,q)$ مثل ، $q \to Q\ ,\ y \to W$.

$y_s =$ مسافة مصدر النقطة من ضفة النهر.

$q_s =$ تصرف المجرى المائي بين $y = 0$ و $y = y_s$.

هذا النموذج يحاكى أيضاً التأفق الطولي فقط والتشتت العرضي.

مثال رقم (٣,١٣): ماء ملوث ينساب خلال منطقة رشح بعمق ٠,٣٥ م على طول الضفة من مجرى دائم. معدلات الرشح المقدرة خلال الأطوال المختلفة من منطقة الرشح على طول المجرى المائي معطاة في الجدول رقم (٣,٢٥). ومتوسط عرض وعمق المجرى المستقبل ٢٤٤ م و ٣,٣٥ م على الترتيب. والسرعة المناظرة لسريان

سبعة أيام وعشر سنوات (7Q10) هي ٠,٦٢ م/ ث. بفرض أن D_y يساوي ٠,١٦م²/ ث، وتوزيع التركيز منتظم على طول العمق. احسب طول الخلط الكامل.

الحل:

لتوزيع منتظم للتركيز على طول العمق افترض قيمة عالية نسبياً لـ D_z (٠,١٦م²/ ث). ويمكن اعتبار المصدر على أنه مستوى رأسي يمتد من x تساوي صفر إلى x تساوي -٢٩٣٦ م (حيث x موجبة في اتجاه مجرى التيار)، z_1 تساوي - ١,٦٧٥ م، z_2 تساوي ١,٦٧٥ م، y_0 تساوي - ١٢٢ م (وتكون نقطة الأصل في منتصف القطاع العرضي للقناة). وللحفاظ على الكتلة يتم استخدام عدد كبير من الصور (أي ١٠٠٠) في برنامج فورتران. وبتقسيم منطقة الرشح إلى ١٠ أجزاء أصغر وباستخدام المعادلات رقم (٣,١٠٥ أ) ورقم (٣,١٠٦) فإن التركيزات المقدرة في مواقع مختلفة موضحة في الجدول رقم (٣,٢٦).

نلاحظ عند x تساوي ٣٢٠٠٠ م فإن التركيز خلال عرض القناة يساوي ٠.٠١٢ ملجم/ ل. وبالتالي فإن الطول النظري اللازم للخلط الكامل حوالي ٣٢٠٠٠م. وباستخدام التركيزات المقدرة عند النقاط الإضافية على طول عرض القناة فإن منطقة الخلط مع طرفها التي تعرف عن طريق التركيز النوعي (٠.٠١٢ ملجم/ ل) يمكن رسمها. والمعيار المستخدم بشكل شائع هو تحديد حد الخلط الكامل أو منطقة الخلط عند القطاع العرضي حيث يكون التركيز عند كل النقاط ضمن ٥٪ من القيمة المتوسطة من القطاع العرضي (Fischer *et al.* 1979). والقطاع العرضي حيث يكون أقصى انحراف عن التركيز المتوسط ضمن ٥٪ يكون حوالي ٢٥٠٠٠ م في اتجاه مصب التيار من المصدر. ونظرياً فأن هذا الطول الكبير يمكن أن يكون مطلوباً؛ لأن D_y تكون صغيرة نسبياً.

الجدول رقم (٣,٢٥). معدلات الرشح من الماء الملوث.

طول منطقة الرشح (م)	معدل الرشح (ل/ ث/ م)	التركيز (ملجم/ ل)
٠ – ٥٦٤	٠,٠١٥٥	٢٥٠
٥٦٤ – ١٢٠٣	٠,٠٠٨	٢٥٠
١٢٠٣ – ١٩٦١	٠,٠٠١١	٢٥٠
١٩٦١ – ٢٧٠١	٠,٠٠٦٥	٢٥٠
٢٧٠١ – ٢٩٣٦	٠,٠٠٥٣	٢٥٠

الجدول رقم (٣,٢٦). توزيع التركيز في المجرى المائي.

المسافة من حافة مصب النهر لمنطقة الرشح	التركيز (ملجم/ ل)		
	المسافات على طول عرض المجرى المائي من الضفة حيث يحدث الرشح		
x (م)	٠ (م)	٧٠ (م)	١٢٠ (م)
٣٠	٠,١٩	٠,٠٠٢	٠,٠٠٠٠٤
٣٠٠	٠,١١	٠,٠٠٣	٠,٠٠٠٠٧
٣٠٠٠	٠,٠٥	٠,٠١٤	٠,٠٠١٦
١٥٠٠٠	٠,٠٢٥	٠,٠١٨	٠,٠١٠
٣٢٠٠٠٠	٠,٠١٢	٠,٠١٢	٠,٠١٢

وفي حالات معينة فإن تركيز المكون في المياه السطحية يمكن أن يتأثر ببعض العمليات مثل القابلية للتحلل بالبكتريا وسرعة التبخر. ومدى تأثير هذه العمليات يمكن أن تقدر عن طريق تقديم معامل مضاعف في المعادلة رقم (٣.١٠٥أ) كما يلي:

$$C(x, y, z, \lambda) = C(x, y, z)\exp(-\lambda x / u) \quad (٣,١١١)$$

obeikandl.com

حيث إن:

$C(x, y, z)$ تعطى بالمعادلة (٣,١٠٥أ).

$C(x, y, z, \lambda)$ = التركيز عند النقاط (x, y, z)، بما فيها تأثير التحلل بالبكتريا والتبخر.

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$$

λ_1 = ثابت معدل التحلل بالبكتريا (زمن$^{-1}$).

λ_2 = ثابت معدل التبخر (زمن$^{-1}$).

وثوابت معدل التحلل بالبكتريا في البيئة الهوائية للمكونات المختلفة يمكن الحصول عليها من مجموعة من المراجع (مثل USEPA 1985). وثوابت معدل التحلل بالبكتريا المقترحة للترتيب الأولي للمكونات المختارة لتحليلات المستوى المصور موضحة في الجدول رقم (٣,٢٧) (USEPA 1985).

وثابت معدل التبخر هو دالة لثابت قانون هنري وهو يتناسب عكسياً مع عمق الماء الذي يذاب فيه المكون. وثابت قانون هنري (K_H) لبعض الكيماويات المختارة موضح في الجدول رقم (٣.٢٨). وللكيماويات الأخرى يمكن تقدير K_H عن طريق:

$K_H \cong$ (ضغط البخار (مم زئبق)) × (الوزن الجزئي (جم/ جزئ)) ÷ (إذابة الماء (جم/ ل) × ٧٦٠)

$$K_H \cong \left[(\text{Vapor Pressure in mm of Hg}) \times (\text{molecular weight in gm/mole})\right] / \left[(\text{water solubility in mg/l}) \times 760\right] \quad (٣,١١٢)$$

القيم النموذجية لثابت معدل التبخر لمياه بعمق ١ م موضحة في الجدول رقم (٣.٢٨) (USEPA 1985). وقيم λ_2 لأعماق مياه مختلفة عن ١ م يمكن أن يتم تقديرها عن طريق قسمة القيم في الجدول رقم (٣.٢٨) على عمق المياه بالأمتار.

opeikandi.com

الجدول رقم (٣,٢٧). ثوابت معدل التحلل بالبكتريا للترتيب الأولي وثوابت قانون هنري للكيماويات المختارة.

المكون	ثابت معدل التحلل بالبكتريا المقترح λ_1 للمستوى المصور للتحليل (يوم$^{-1}$)[a]	ثابت قانون هنري (ض.ج.م^{3}/ مول)[b]
الكلور السباعي	٠	٨,١٩ × ١٠$^{-٤}$
رابع كلوريد الكربون	< ٠,٥ (استخدم ٠,٥)	٢ × ١٠$^{-٢}$
١،١ ايثلين الكلور الثنائي	< ٠,٥ (استخدم ٠,٥)	٣,٤ × ١٠$^{-٢}$
١،٢ ايثلين الكلور الثنائي - جانب واحد	٠,٠٥ – ٠,٥ (استخدم ٠,٠٥)	٧,٥٨ × ١٠$^{-٣}$
١،٢ ايثلين الكلور الثنائي - جانبين	٠,٠٥ – ٠,٥ (استخدم ٠,٠٥)	٦,٥٦ × ١٠$^{-٣}$
ايثلين الكلور الثلاثي	٠,٠٥ – ٠,٥ (استخدم ٠,٠٥)	٩,١٠ × ١٠$^{-٣}$
ايثلين الكلور الرباعي	٠,٠٥ – ٠,٥ (استخدم ٠,٠٥)	٢,٥٩ × ١٠$^{-٢}$
البنزين	< ٠,٥ (استخدم ٠,٥)	٥,٥٩ × ١٠$^{-٣}$
كلورو بنزين	< ٠,٥ (استخدم ٠,٥)	٣,٧٢ × ١٠$^{-٣}$
١،٢ كلورو بنزين الثنائي	٠,٠٥ – ٠,٥ (استخدم ٠,٠٥)	١,٩٣ × ١٠$^{-٣}$
١،٣ كلورو بنزين الثنائي	٠,٠٥ – ٠,٥ (استخدم ٠,٠٥)	٣,٥٩ × ١٠$^{-٣}$
١،٤ كلورو بنزين الثنائي	٠,٠٥ – ٠,٥ (استخدم ٠,٠٥)	٢,٨٩ × ١٠$^{-٣}$
الاثيل بنزين	< ٠,٥ (استخدم ٠,٥)	٦,٤٣ × ١٠$^{-٣}$
طولوين	< ٠,٥ (استخدم ٠,٥)	٦,٣٧ × ١٠$^{-٣}$

المصدر a: USEPA (1985).

المصدر b: Maidment (1993).

oleikandi.com

الجدول رقم (٣,٢٨). القيم النموذجية لثابت معدل التبخر.

ثابت قانون هنري K_H (ض.ج.م٣/ جزئ)	ثابت معدل التبخر λ_2 لعمق ماء مخلوط قدره ١ م (يوم-١)
١	٤,٨
١٠-١	٤,٨
١٠-٢	٤,٧
١٠-٣	٤,٢
١٠-٤	١,٨

المصدر: USEPA (1985).

مثال رقم (٣,١٤): احسب التركيز في مثال رقم (٣,١٣) عند مسافة ١٥٠٠٠ م من موقع الرشح و ٧٠ م من الضفة على طول عرض النهر. المكون هو إيثيلين الكلور الثلاثي، مع وجود تأثير للتحلل بالبكتريا والتبخر.

الحل:

باستخدام برنامج فورتران أو أوراق العمل لأداء حسابات المعادلة رقم (٣,١٠٥أ) عند x تساوي ١٥٠٠٠ م وعند مسافة ٧٠ م من ضفة النهر، مع سرعة u تساوي ٠,٦٢ م/ ث، وعمق مياه يساوي ٣,٣٥ م، يكون:

$$C(x, y, z) = 0.018\,mg/1$$

وأيضاً يتم توزيع المكون بانتظام على العمق. ومن الجدول رقم (٣,٢٧) في حالة إيثيلين الكلور الثلاثي نجد أن:

$$\lambda_1 = 0.05\,day^{-1} \quad , \quad K_H = 9.10\times10^{-3}$$

ومن الجدول رقم (٣,٢٨) لقيمة K_H فأن $\lambda_2 \cong 4.6\,day^{-1}$ لمياه بعمق ١ م.

ولمياه بعمق ٣,٣٥ م تكون λ_2 تساوي:

$$4.6/3.35 = 1.373\ \text{day}^{-1}$$

إذن:

$$\lambda = 0.05 + 1.373 = 1.423\ \text{day}^{-1}$$

وكذلك:

$$x/u = 15{,}000/(0.62 \times 86{,}400) = 0.28\ \text{day}$$

وبالتالي:

$$C(x, y, z, \lambda) = 0.018 \exp(-1.423 \times 0.28) = 0.012\ \text{mg}/1$$

تقدير معاملات التشتت Estimation of Dispersion Coefficients

بعض المعادلات لتقدير معامل التشتت الطولي D_x هي:

$$D_x/(U_* D) = 5.915 (W/D)^{0.62} (U/U_*)^{1.428} \qquad (٣,١١٣)$$

(Seo and Cheong 1995)

$$D_x = 5.93\, U_* D \qquad (٣,١١٤)$$

(USNRC 1976)

حيث إن:

D = متوسط عمق الماء.

U_* = سرعة القص.

W = متوسط عرض القناة.

والبيانات التجريبية لبعض المجاري المائية مبينة في الجدول رقم (٣,٢٩) (Fischer *et al.* 1979; Graf 1995).

obeikandi.com

الجدول رقم (٣,٢٩). معامل التشتت الطولي للمجاري المائية المختارة.

المجرى المائي	العمق (م)	العرض (م)	متوسط السرعة (م/ث)	معامل التشتت الطولي D_x (م²/ث)
نهر ساكرامنتو ، كالفيورنيا	٤,٠		٠,٥٣	١٥,٠
نهر ساوث بلات ، كلورادو	٠,٤٦		٠,٦٦	١٦,٢
نهر ميسوري	٢,٧	٢٠٠	١,٥٥	١٥٠٠
نهر كلينش ، تينسي	٠,٨٥	٤٧	٠,٣٢	١٤,٠
نهر كلينش ، فيرجينيا	٠,٥٨	٣٦	٠,٢١	٨,١
نهر باول ، تينسي	٠,٨٥	٣٤	٠,١٥	٩,٥
كوبر جريك ، فيرجينيا	٠,٤٠	١٩	٠,١٦	٩,٩
نهر كلوراود، من لي إلى خليج نيوتيلود	٨,٢	٧١,٦	٠,٩١	١٦٤-١٠٩

المصدر: Fischer *et al.* (1979); Graf (1995).

بعض المعادلات لتقدير معامل التشتت العرضي D_y هي:

$$D_y = 0.23\, U_*\, D \qquad (٣,١١٥)$$

(USNRC1976)

$$D_y = 0.15\, U_*\, D \qquad (٣,١١٦)$$

(Fischer *et al.* 1979)

$$D_y = 0.60\, U_*\, D \qquad (٣,١١٧)$$

(USEPA 1991c) مع تغير مقداره ٥٠٪

$$\log\left(D_y / U_*\, D\right) = -2.698 + 1.498 \log\left(W / D\right) \qquad (٣,١١٨)$$

(Bansal 1971)

البيانات التجريبية لبعض المجاري المائية مبينة في الجدول رقم (٣,٣٠) (Fischer *et al.* 1979)

Oudeikanadi.com

الجدول رقم (٣,٣٠). معامل التشتت العرضي للمجاري المائية المختارة.

المجرى المائي	العمق (م)	العرض (م)	متوسط السرعة (م/ث)	معامل التشتت العرضي D_y (م٢/ث)
نهر بتوماك، ميرلاند	٠,٧٣ - ١,٧٤	٣٥٠	٠,٢٩ - ٠,٥٨	٠,٠١٣ - ٠,٠٥٨
نهر ميسوري، مصب نهر محطـة كـوبر النوويـة، نبراسكا	٤	٢١٠ - ٢٧٠	٥,٤	١,١
نهر ميسوري، قرب بلير، نبراسكا	٢,٧	٢٠٠	١,٧٥	٠,١٢

المصدر: Fischer *et al.* (1979).

بعض المعادلات لتقدير معامل التشتت الرأسي D_z هي:

$$D_z = 0.067\, U_*\, D \qquad (٣,١١٩)$$

(Fischer *et al.* 1979)

$$\log\left(D_z / \nu\right) = -8.08 + 1.89 \log\left(U_*\, D / \nu\right) \qquad (٣,١٢٠)$$

(Bansal 1971)

يمكن استخدام قيمة عالية نسبياً لـ D_z (يساوى تقريباً D_y) لمحاكاة الأحـوال التي تكون فيها المادة الملوثة مختلطة جيداً على عمق المجرى المائي واختلافات التركيـز في الاتجاه الرأسي ليست مؤثرة.

يجب أن تقدر معاملات التشتت باستخدام طرق عديدة وقـيم معقولـة مختـارة عن طريق الحكم. وعند التطبيق العملي يجب التحقق من القـيم عـن طريـق قياسـات حقلية.

تركيز الأكسجين المذاب في المجاري المائية

Dissolved Oxygen Concentrations in Streams

تصرفات الماء الفائض في المجاري المائية تؤدى إلى الزيادة في مطلبها من الأكسجين الكيميائي الحيوي (BOD) الذي يستهلك الأكسجين المذاب (DO). وتركيز الأكسجين المذاب في مياه الأنهار الأقل من ٤ إلى ٥ ملجم/ ل يعتبر مضر للنباتات والحيوانات المائية. وتعتمد هيدروليكا وعمليات إجهاد مطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي واستهلاك الأكسجين المذاب في الأنهار على التالي:

١- الاختلافات الزمنية (التي تعتمد على الزمن) والمكانية في تدفقات المجاري المائية وأعماق المياه والسرعات.

٢- الاختلافات المكانية في هندسة النهر (أشكال القطاعات العرضية للمجاري المائية ووجود منعطفات في النهر).

٣- الاختلافات الزمنية في العوامل المناخية (مثل سرعة الرياح والحرارة والضغط الجوي والمطر والثلج وضوء الشمس).

٤- الاختلافات الزمنية والمكانية في الأكسجين المذاب المحيط في النهر.

٥- أحوال النهر (مثل المدى المساحي للغطاء الجليدي ودرجات حرارة المياه تحت الغطاء الجليدي ومساحات الجليد الحرة).

٦- هندسة مخارج التصريف (مثل شكل نقطة أو خط أو عدم نقطة) وسرعة التصرف من مخارج التصريف (أي السرعات العالية أو المنخفضة التي يمكن أن تؤثر على الخلط الأولي).

٧- مدى حاجة الأكسجين للتمثيل الضوئي والتنفس والرواسب في البيئة النهرية.

بعض النماذج شائعة الاستخدام لمحاكاة هذه العمليات تشمل (USEPA 1987a) QUAL2E و (USEPA 1988b) WASP4 و (USACE 1978) WQRRS. ولتقديرات أولية لتركيز الأكسجين المذاب DO في المجاري المائية الناتج من تصرفات الأكسجين الكيميائي الحيوي BOD خلال مصدر النقطة (مثل مخارج التصريف)، يمكن استخدام منهج بسيط نسبياً يقوم على صياغة ستريتر- فليبس. وفي حالة السريان المنتظم المستقر، تتوقع معادلة ستريتر- فليبس أن نقص في الأكسجين المذاب في مواقع مصب النهر من النقطة التي يكون عندها نقص الأكسجين المذاب DO وتركيزات الأكسجين الكيميائي الحيوي BOD معروفة. يعرف النقص في الأكسجين المذاب DO كما يلي:

$$D = C_s - DO_0 \qquad (٣,١٢١)$$

حيث إن:

D = النقص في الأكسجين المذاب (ملجم/ ل).

C_s = تركيز تشبع الأكسجين المذاب (ملجم/ ل) عند درجة حرارة الماء في النهر وعلى ارتفاع من النهر عند الموقع موضع الاهتمام.

DO_0 = تركيز الأكسجين المذاب المحيط في مياه النهر (ملجم/ ل).

معادلة ستريتر- فليبس للنقص في الأكسجين المذاب D عند نقطة مصب النهر لموقع ما هي (USEPA 1985, 1987a; USACE 1987):

$$D = [K_L L_0 / (K_a - K_L)][\exp(-K_L x/u) - \exp(-K_a x/u)] + D_0 \exp(-K_a x/u) \qquad (٣,١٢٢)$$

حيث إن:

K_a = معامل إعادة التهوية (يوم$^{-1}$).

K_L = معامل تحلل الأكسجين الكيميائي الحيوي (يوم^-١^).

D = النقص في الأكسجين المذاب (ملجم/ ل).

x = مسافة مصب النهر (م).

u = سرعة السريان (م/ يوم).

D_0 = النقص الأولي في الأكسجين المذاب عند $x = 0$ (ملجم/ ل).

L_0 = مطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي الأولي عند $x = 0$ (ملجم/ ل).

يفترض نموذج ستريتر- فليبس الفروض التالية:

١- يمكن إهمال تأثير مطلب الأكسجين للتمثيل الضوئي والتنفس والرواسب. وعادةً هذه التأثيرات تكون صغيرة إذا لم يكن هناك نمو للطحالب في بداية النهر موضع الاهتمام.

٢- في بداية النهر موضع الاهتمام تكون التيارات المائية موازية لاتجاه السريان ولا يوجد أكسجين مذاب ولا أكسجين كيميائي حيوي بين هذه التيارات المائية المتوازية. وهذا هو الافتراض الأساسي لمعادلة ستريتر- فليبس. وبمجرد افتراض حالة السريان المنتظم والمستقر، فإن هذا يمكن أن يكون الموقف الناتج. ويمكن أن يكون هذا محافظاً لأنه لا يتضمن تخفيف في تعزيز الأكسجين المذاب أو مطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي الناتج عن الخلط المستعرض (عن طريق التشتت) في بداية المجرى المائي بأكمله.

باستخدام المعادلة رقم (٣,١٢٢) فإن تركيزات الأكسجين المذاب ومطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي في مواضع مختلفة في طرف النهر يمكن أن يتم تقديرها. وتخطيط تركيز الأكسجين المذاب (المحور- y) مقابل مسافات النهر يسمى منحنى هبوط الأكسجين. والقيمة الحرجة (الأقل) لتركيز الأكسجين المذاب أو أقصى قيمة للنقص في الأكسجين المذاب تعطى بالمعادلة:

$$D_{max} = D_0 \exp(-K_a t_c) + \{K_L L_0 / (K_a - K_L)\}\{\exp(-K_L t_c) - \exp(-K_a t_c)\}$$

(٣,١٢٣أ) $$= [K_L L_0 / K_a][\exp(-K_L t_c)]$$

حيث إن:

t_c = الزمن الحرج عند حدوث D_{max} ويعطى بالمعادلة:

(٣,١٢٣ب) $$t_c = [1/K_a - K_L] \ln[(K_a / K_L) - D_0 K_a (K_a - K_L)/(L_0 K_L{}^2)]$$

والمسافة التي تحدث عندها D_{max} تعطى بالمعادلة:

(٣,١٢٤) $$X = u\, t_c$$

يتطلب تحليل الأكسجين المذاب أن يكون تركيز مطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي معلوماً عند x تساوي صفر. والقياس الأكثر استخداماً لمطلب الأكسجين المذاب هو مطلب الأكسجين المذاب خمسة أيام (أو BOD_5)، والذي يعرف بأنه مطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي الذي تم إجهاده (أكسدته) بعد t يساوي خمسة أيام من الإجهاد/ الأكسدة، أي أن:

(٣,١٢٥) $$BOD_5 = BOD_0\,[1 - EXP(-K_L\, t)]$$

حيث إن:

BOD_0 = مطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي الأولي (ملجم/ ل) عند $t = 0$.

t = الزمن بالأيام الذي يقدر بخمسة أيام لتقدير BOD_5 .

قيم K_L النموذجية عند درجة حرارة ٢٠° مئوية من حوالي ٠,٢ إلى ٠,٣ يوم$^{-1}$، وتعتبر قيمة ٠,٢٣ يوم$^{-1}$ هي شائعة الاستخدام. واختلاف قيمها بالنسبة إلى درجة الحرارة يمكن أن تقدر عن طريق المعادلة:

(٣,١٢٦) $$K_L(\text{at } T\ ^\circ C) = K_L(\text{at } 20^\circ C) \times (1.135)^{T-20}$$

يمكن أن يتم تقدير معامل إعادة التهوية عن طريق معادلة أوكونور (USEPA 1985):

obeikandi.com

(٣,١٢٧) $$K_a(\text{at } 20^\circ C) = 3.932\, u^{0.5} / Y^{1.5}$$

حيث إن:

u = السرعة (م/ ث).

Y = عمق الماء (م).

ويمكن تقدير القيم عند درجات حرارة أخرى عن طريق المعادلة:

(٣,١٢٨) $$K_a(\text{at } T\ ^\circ C) = K_a(\text{at } 20^\circ C) \times (1.024)^{T-20}$$

ويمكن أن الحصول على قيم تركيز تشبع الأكسجين المذاب من جداول خاصة (USEPA 1985) أو تقرب عن طريق المعادلة:

C_s (عند درجة حرارة T° مئوية وعلى ارتفاع صفر م) يساوي

(٣,١٢٩) $$C_s = 14.065 - 0.41022\, T + 0.00791\, T^2 - 0.00007774\, T^3$$

ويمكن تقدير القيم عند ارتفاعات E غير الصفر عن طريق المعادلة:

C_s (عند ارتفاع E م) = C_s (عند ارتفاع صفر متر) × (١ - ٠,٠٠٠١١٦٥٦ E)

(٣,١٣٠) $$C_s(\text{at } E\, m) = C_s(\text{at } E\, 0\, m) \times [1 - 0.00011656\, E]$$

والقيم المقدرة بالمعادلتين رقم (٣,١٢٧) ورقم (٣,١٢٨) تكون لغطاء جليدي قدره صفر٪. ويمكن استخدام عامل مضاعفة قدره ٠,٠٥ لتقدير قيم ١٠٠٪ غطاء جليدي. وقيم النسب الأخرى من الغطاء الجليدي يمكن أن تستنتج عن طريق الاستكمال الخطي. وقيم C_s النموذجية عند الضغط الجوي وعند درجة حرارة من صفر إلى 35° درجة مئوية موضحة في الجدول رقم (٣,٣١) (USEPA 1987a).

إن تصرف الأكسجين الكيميائي الحيوي من مخرج التصريف يخفف بالتأفق والتشتت في مياه النهر. وعادةً لا تحقق معايير جودة المياه ضمن منطقة خلط صغيرة نسبياً في الجوار القريب من مخرج التصريف. وطبقاً لـ USEPA (1991c) يمكن أن

يوجد حتى نوعان من مناطق الخلط القابلة للتطبيق على معايير الحياة المائية: المزمنة والحادة. وفي المنطقة التي تحيط مباشرة بمخرج التصريف لا يتم تحقيق أي من المعيار المزمن ولا الحاد. ويجب أن يحقق المعيار الحاد عند الحافة الداخلية لمنطقة الخلط. ويجب تحقيق المعيار المزمن عند حافة منطقة الخلط الثانية. ولا تحتوى مناطق الخلط التي تؤخذ بشكل شائع على أكثر من ٢٥٪ من مساحة القطاع العرضي يجب ألا يمتد أكثر من ٥٠٪ من عرض النهر.

الجدول رقم (٣,٣١). ذوبان الأكسجين في الماء عند الضغط الجوي.

درجة الحرارة T (م°)	C_s (ملجم/ل)
٠	١٤,٦
٥	١٢,٨
١٠	١١,٣
١٥	١٠,٢
٢٠	٩,٢
٢٥	٨,٤
٣٠	٧,٦
٣٥	٧,١

المصدر: USEPA (1985).

مثال رقم (٣,١٥): معاملات معدل مطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي المسجلة عند درجة حرارة ٢٠° مئوية هي ٠,٢٢١ يوم$^{-1}$، وعند درجة حرارة ٣° مئوية هي ٠,٠٢٦ يوم$^{-1}$. معامل إعادة التهوية للمجرى المائي هو ٣,٥٣ يوم$^{-1}$ عند درجة

حرارة ٢٠° مئوية. احسب القيم عند درجة حرارة ٢° مئوية مع فرض أن الغطاء الجليدي في المجرى المائي يساوي ٨١٪.

الحل:

اختلاف معامل معدل تحلل مطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي مع درجة الحرارة يعطى بالمعادلة رقم (٣,١٢٦):

$$K_L\ (at\ 3^\circ C) = K_L\ (at\ 20^\circ C)(A)^{3-20}$$

إذن:

$$0.026 = 0.221\,(A)^{-17}$$

وهذا ينتج:

$$A = 1.134$$

إذن معامل معدل تحلل مطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي BOD عند درجة حرارة ٢° مئوية يساوي:

$$K_L\ (at\ 2^\circ C) = 0.221 \times (1.134)^{2-20} = 0.02298\ /\ day$$

معامل إعادة التهوية عند درجة حرارة ٢° مئوية (المعادلة رقم (٣,١٢٨)) يساوي:

$$K_a\,(at\ 2^\circ C) = 3.53 \times (1.024)^{2-20} = 2.30\ /\ day$$

معاملات المضاعفة الموصى بها لضبط K_a في حالات صفر٪ و ١٠٠٪ من غطاء جليدي هي ١,٠ و ٠,٠٥، على الترتيب (USEPA 1987a). وعن طريق الاستكمال الخطي فإن عامل المضاعفة في حالة ٨١٪ من الغطاء الجليدي يقدر بمقدار ٠,٢٣، وبهذا فإن قيمة K_a (عند درجة حرارة ٢° مئوية وغطاء جليدي ٨١٪) تساوي:

$$K_a = 0.23 \times 2.30 = 0.53\ /day$$

مثال رقم (٣,١٦): في مجرى مائي يتم تزويد ٣٣,٨٥ ملجم/ ل من مطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي BOD عند نقطة يكون فيها النقص الأولي في الأكسجين المذاب Do يساوي ٢,٠ ملجم/ ل. وبسبب مراقبات مصب النهر للمجرى المائي فإن سرعة السريان بطيئة نسبياً وحوالي ٢٥٩٢ م/ يوم. احسب النقص في الأكسجين المذاب عند مسافة ١٢٠٠ م من النقطة التي يتم عندها تزويد مطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي. ومعامل إعادة التهوية (K_a) ومعامل تحلل مطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي (K_L) يساويان ٠,٠٩٣٣ يوم$^{-1}$ و ٠,٠١٧٨٧ يوم$^{-1}$ على الترتيب، واحسب أيضاً الزمن الحرج والنقص الحرج في الأكسجين المذاب. بفرض أن تأثير التشتت المستعرض على تخفيف مطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي يمكن إهماله.

الحل:

استخدم المعادلة رقم (٣,١٢٢)، مع الأخذ في الاعتبار إن:

$$K_a = 0.0933\ \text{day}^{-1} \quad , \quad K_L = 0.01787\ \text{day}^{-1} \quad , \quad D_0 = 2.0\ \text{mg/l}$$
$$u = 2592\ \text{m/day} \quad , \quad x = 1200\ \text{m} \quad , \quad L_0 = 33.85\ \text{mg/l}$$

$$K_a\ x/u = 0.0933 \times 1200/2592 = 0.0432$$

$$K_L\ x/u = 0.01787 \times 1200/2592 = 0.00827$$

النقص في الأكسجين المذاب (عند x تساوي ١٢٠٠ م):

$$D = 2.0 \times [\exp(-0.0432)] + \{33.85 \times 0.01787/(0.0933 - 0.01787)\}$$
$$\{\exp(-0.00827) - \exp(-0.0432)\} = 2 \times 0.9577 + 8.019$$
$$[0.9918 - 0.9577] = 2.19\ \text{mg/l}$$

وباستخدام المعادلة رقم (٣,١٢٣ ب):

$$t_c = \{1/(0.0933 - 0.01787)\} \ln[(0.0933/0.01787)\{1 - 2 \times$$
$$(0.0933 - 0.01787)/(0.01787 \times 33.85)\}] =$$
$$13.257 \ln(3.9189) = 18.1\ \text{days}$$

باستخدام المعادلة رقم (٣,١٢٣ أ):

$$D_{max} = 2.0\times \exp(-0.0933\times 18.1) + \{33.85\times 0.01787/(0.0933-0.01787)\}$$
$$[\exp(-0.01787\times 18.1) - \exp(-0.0933\times 18.1)] =$$
$$0.369 + 8.019(0.7236-0.1846) = 4.69 \ \ mg/1$$

السريان في الأنابيب
Pipe Flow

السريان خلال الأنابيب أو الأنفاق يمكن أن يكون سريان تحت ضغط أو سريان في قناة مفتوحة. ويمكن تحليل سريان القناة المفتوحة باستخدام الطرق الموضحة مسبقاً. وسريان الضغط خلال الأنابيب يمكن أن يكون طبقياً إذا كان رقم رينولدز R_{ed} (باستخدام قطر الأنبوب) ≤ ٢٠٠٠، وانتقالي إذا كان ٢٠٠٠ > R_{ed} > ٤٠٠٠ ومضطرباً إذا كان ٤٠٠٠ ≤ R_{ed}. وباستخدام قطر الأنبوب:

$$R_{ed} = V\,d/\nu \qquad (٣,١٣١)$$

حيث إن:

d = قطر الأنبوب.

وفي حالة سريان أنبوب ممتلئ كلياً فإن $R = d/4$. إذن $R_{ed} = 4\,R_e$، حيث R_e رقم رينولد المحسوب باستخدام نصف القطر الهيدروليكي R في مكان d.

السريان الطبقي في الأنابيب Laminar Flow in Pipes

يظهر السريان الطبقي عادة في الموائع اللزجة (مثل الزيت الخام، الجلسرين، بعض زيوت المحركات) ويحدث خلال السرعات المنخفضة في الأنابيب. ويوضح توزيع السرعة خلال المقطع العرضي للأنبوب ذو السريان الطبقي من معادلة هاجن-بوسيلي:

$$u = [(p_1 - p_2)/(4\,\mu\,L)][(d^2/4) - y^2] \qquad (٣,١٣٢)$$

حيث إن:

y = المسافة من مركز الأنبوب (م).

u = السرعة (م/ ث) عند y .

p_1 , p_2 = ضاغط الضغط عند نقاط بداية ونهاية السريان (كجم/ م٢).

L = المسافة بين النقطتين (م).

μ = اللزوجة الديناميكية (كجم.ث/ م٢).

السرعة القصوى في القطاع العرضي تحدث عند المنتصف وتعطى بالمعادلة:

$$u_{max} = \left[(p_1 - p_2) d^2 / (16 \mu L) \right] \qquad (٣,١٣٣)$$

ومتوسط السرعة عبر القطاع العرضي:

$$V = \left[(p_1 - p_2) d^2 / (32 \mu L) \right] \qquad (٣,١٣٤)$$

مثال رقم (٣,١٧): احسب الضاغط والقدرة اللازمة لنقل الزيت الخام عبر مسافة ١ كم بمعدل تصرف ١٥٠٠ ل/ ث خلال خط أنابيب بقطر ١٠ سم، ومعامل اللزوجة الديناميكية μ يساوي ٠,١٢ بواز، والكثافة ρ تساوي ٨٦٠ كجم/ م٣. وأدنى درجة حرارة متوقعة في الجوار القريب حوالي ٧° مئوية. احسب أيضاً R_{ed} .

الحل:

$$1500\ 1/h = 0.0004167\ m^3/s$$

$$V = 1.5 \times 4 / \left(3{,}600 \times \pi \times 0.10^2\right) = 0.053 m/s$$

$$\mu = 0.12\ poise = 0.12\ dyne \cdot s/cm^2 = 0.12\ gm/cm \cdot s = 0.12 \times 1.020$$
$$\times 10^{-3}\ gm \cdot s/cm^2 = 0.1224 \times 10^{-2}\ kg \cdot s/m^2 = 0.012\ kg/m \cdot s$$

$$\nu \left(m^2/s\right) = \mu \left(kg/m \cdot s\right) / \rho \left(kg/m^3\right) = 0.012/860 = 0.000014\ m^2/s$$

باستخدام المعادلة رقم (٣,١٣٤):

obeikandl.com

$$p_1 - p_2 = 32\mu\left(kg\cdot s/m^2\right)VL/d^2 = 32\times0.001224\times0.053\times1000/\left(0.10^2\right)$$
$$= 207.6\,kg/m^2$$

الضاغط المطلوب:

$$207.6/860 = 0.24\,m$$

القدرة المطلوبة:

$$Q\left(p_1 - p_2\right) = 0.00041673\times207.6 = 0.0865\,kg\cdot m/s$$

$$R_{ed} = V\,d\,\rho/\mu = 0.053\times0.10\times860/0.012 = 380$$

وحيث إن القيمة أقل من ٢٠٠٠ إذن السريان طبقياً.

السريان المضطرب في الأنابيب Turbulent Flow in Pipes

السريان المستقر في الموائع غير القابلة للانضغاط في الأنابيب يكون محكوماً بمعادلة برنولي:

$$p_1/\gamma + V_1^2/2g = p_2/\gamma + V_2^2/2g + z_2 + h_L \qquad (٣,١٣٥)$$

حيث إن:

p_1 = الضغط (كجم/ م٢) عند النقطة١.

p_2 = الضغط عند النقطة٢.

V_2, V_1 = السرعات (م/ ث) عند النقطتان ١ و ٢ على الترتيب.

z_2, z_1 = المنسوب للنقطتين ١ و ٢ على الترتيب.

h_L = الفاقد في الضاغط بسبب الاحتكاك والفواقد الثانوية الأخرى بين النقطتين ١ و ٢.

وإذا كان الضغط في المعادلة رقم (٣,١٣٤) معبراً عنه بارتفاع المائع (م) فإن:

$$h = \left(p_1 - p_2\right)/\gamma = 32\,\mu\,V\,L/\left(\rho\,g\,d^2\right) = \left(64/R_{ed}\right)\left[LV^2/2\,g\,d\right] \qquad (٣,١٣٦)$$

obeikandl.com

وبوضع $f = 64/R_{ed}$ = معامل خشونة الأنبوبة فإن المعادلة رقم (٣,١٣٦) تصبح معادلة دارسي-ويسباك للفاقد نتيجة الاحتكاك خلال الأنابيب:

$$h = f\,L\,V^2/(2\,g\,d) \tag{٣,١٣٧}$$

ويمكن الحصول على قيم f من منحنى مودي المتاح في معظم المراجع (مثل Streeter 1971; Potter and Wiggert 1991; Brater *et al.* 1996). وكبديل يمكن استخدام معادلات شيزي أوماننق أو هازن-وليم (المعادلات رقم (٣,٣) ورقم (٣,٤) ورقم (٣,٦)) إذا كان يمكن تقدير المعاملات النسبية لهم. ومعامل الخشونة f يمكن أن يقدر بدون معرفة قطر الأنبوب إذا كان معامل شيزي C معلوماً:

$$f = 8\,g/C^2 \tag{٣,١٣٨}$$

ولتقدير f من n يجب أن يكون قطر الأنبوب معلوماً، ومن C_H فإن كلاً من القطر والميل S يجب أن يكونا معلومين:

$$f = 124.85\,n^2/\left(d^{1/3}\right) \tag{٣,١٣٩}$$

$$f = 156.06/\left({C_H}^2\,d^{0.26}\,S^{0.08}\right) \tag{٣,١٤٠}$$

قيم n، C_H النموذجية للأنابيب الأكثر شيوعاً في الاستخدام موضحة في الجدول رقم (٣,٣٢ أ) والجدول رقم (٣,٣٢ ب) (Brater *et al.* 1996; ASCE 1976).

وكبديل لاستخدام منحنى مودي فإن الفاقد نتيجة الاحتكاك أو معدل التصرف أو قطر الأنبوب يمكن أن يقدر بوضوح إذا كان ارتفاع خشونة جدار الأنبوب e واللزوجة الكينياتيكية للسائل v والمتغيران الاثنان الآخران أو المتغيرات الثلاثة الأخرى معلومة (Swamee and Jain 1976):

$$h_L = \left[1.07\,Q^2\,L/\left(g\,D^5\right)\right]\left[\ \ln\ \left\{\left(e/(3.7\,D)\right) + 4.62\left(v\,D/Q\right)^{0.9}\right\}\right]^{-2} \tag{٣,١٤١}$$

obeikandi.com

هــذه المعادلــة صــالحة في حالــة $10^{-6} < e/D < 10^{-2}$ و $3000 < R_{ed} < 3\times10^{8}$.
لاحظ أن e و D يجب أن تكونا بنفس الوحدات.

الجدول رقم (٣,٣٢أ). القيم النموذجية لمعامل ماننق n .

نوع الأنبوب	معامل ماننق n
أسبوستس - أسمنت	٠,٠١١ – ٠,٠١٥
حديد مسبوك نظيف غير مغطى	٠,٠١٣ – ٠,٠١٥
حديد مسبوك نظيف مغطى	٠,٠١٢ – ٠,٠١٤
حديد مجلفن	٠,٠١٥ – ٠,٠١٧
معدن مموج	٠,٠٢٣ – ٠,٠٢٩
معدن مموج ، صفيحة معدنية بنائية	٠,٠٣٠ – ٠,٠٣٣
خرسانة خشنة التكوين	٠,٠١٥ – ٠,٠١٧
خرسانة فولاذية التكوين	٠,٠١٢ – ٠,٠١٤
طين مزجج	٠,٠١١ – ٠,٠١٧
بلاط الطين	٠,٠١٢ – ٠,٠١٤
الأنفاق الصخرية غير المبطنة	٠,٠٣٨ – ٠,٠٤١
الفلاذ بالطلاء الزجاجي	٠,٠٠٩ – ٠,٠١٠
النحاس الأصفر أو الزجاج	٠,٠٠٩ – ٠,٠١٣
البلاستيك (الناعم)	٠,٠١١ – ٠,٠١٥
كلوريد البولي فينيل (البلاستيك الخشن)	٠,٠٠٩ – ٠,٠١٠

المصدر: Brater *et al.* (1996) ; ASCE (1976).

obeikandl.com

الجدول (٣,٣٢ ب). القيم النموذجية لمعامل هازن-وليم C_H

نوع الأنبوب	معامل هازن- وليم C_H
كلوريد البولي فينيل، الزجاج، الفولاذ المطلي	١٣٠ - ١٥٠
أنبوب الفولاذ المبرشم	١٠٠ - ١١٠
أنبوب الحديد المسبوك	٩٥ - ١٠٠
أنبوب الخرسانة الناعمة	١٢٠ - ١٤٠
الأنبوب الخشن (أنبوب الخرسانة الخشن)	٦٠ - ٨٠

المصدر: Brater *et al.* (1996) ; ASCE (1976).

$$Q = -0.965\left(g\, D^5\, h_L/L\right)^{0.5} \operatorname{Ln}\left[e/(3.7\, D) + \left\{3.17 \nu^2 L/\left(g\, D^3\, h_L\right)\right\}^{0.5}\right] \quad (٣,١٤٢)$$

هذه المعادلة صالحة في حالة $R_{ed} > 2000$.

$$D = 0.66\left[e^{1.25}\left(L\, Q/g\, h_L\right)^{4.75} + \nu\, Q^{9.4}\left\{L/\left(g\, h_L\right)\right\}^{5.2}\right]^{0.04} \quad (٣,١٤٣)$$

هذه المعادلة صالحة في حالة $10^{-6} < e/D < 10^{-2}$ و $5000 < R_{ed} < 3\times10^{8}$.

والمعادلات من رقم (٣.١٤١) إلى رقم (٣.١٤٣) تكون مفيدة على وجه خاص في تطبيقات الحاسب الآلي. وقيم e النموذجية موضحة في الجدول رقم (٣.٣٣) (Brater *et al.* 1996; ASCE 1976; Chow 1959; Streeter 1971).

بالإضافة إلى الاحتكاك هناك فواقد ثانوية في الأنابيب عند المدخل والمخرج والضيق والاتساع والانحناءات والبوابات والصمامات. وهذه الفواقد يعبر عنها كالتالي:

$$h_L = k\ V^2/2\, g \quad (٣,١٤٤)$$

حيث إن:

h_L = فاقد الضاغط.

V = سرعة السريان في الأنبوب عند أو بعد موقع تلك المعالم النسبية مباشرة.

k = معامل الفاقد الثانوي.

وقيم k للمعاملات المختلفة يمكن أن توجد في المراجع القياسية (مثل Streeter 1971; Potter and Wiggert 1991; Brater *et al.* 1996). وعند اتساع أو ضيق الأنبوب فإن V تتعلق بالأنبوب الأصغر.

أحياناً يكون السريان خلال الضيق محدوداً بالتكهف الذي يحدث عندما يصل الضغط المطلق عند الضيق إلى ضغط البخار المشبع للسائل. وقد يحدث التكهف أيضاً عند النقطة العالية في السيفون. وضغط البخار المشبع للماء عند درجات الحرارة المختارة موضح في الجدول رقم (٣,٣٤) (Streeter 1971).

الجدول رقم (٣,٣٣).القيم النموذجية لخشونة جدار الأنبوب e .

نوع مادة الأنبوب	e (مم)
الأنابيب المسحوبة	٠,٠٠١٥
الفولاذ المطلي بالزجاج	٠,٠٠٥
الحديد المطروق	٠,٠٦ - ٢,٤
الحديد المجلفن	٠,١٥ - ٤,٦
الحديد المسبوك	٠,١٢ - ٣,٠
المعادن المموجة	٠,٣٠ - ٦٠
الفولاذ المبرشم تماماً	٠,٣٠ - ٩,٠
الخرسانة	٠,٣٠ - ٣,٠

المصدر: Brater *et al.* (1996) ; ASCE (1976) ; Streeter (1971).

obeikandl.com

الجدول رقم (٣,٣٤). ضغط بخار الماء المشبع.

درجة الحرارة (م°)	ضغط بخار الماء المشبع (م)
٠	٠,٠٦
١٠	٠,١٢٥
٢١	٠,٢٥٦
٣٢	٠٠,٤٩
٦٠	٢,٠٣
١٠٠	١٠,٣٣

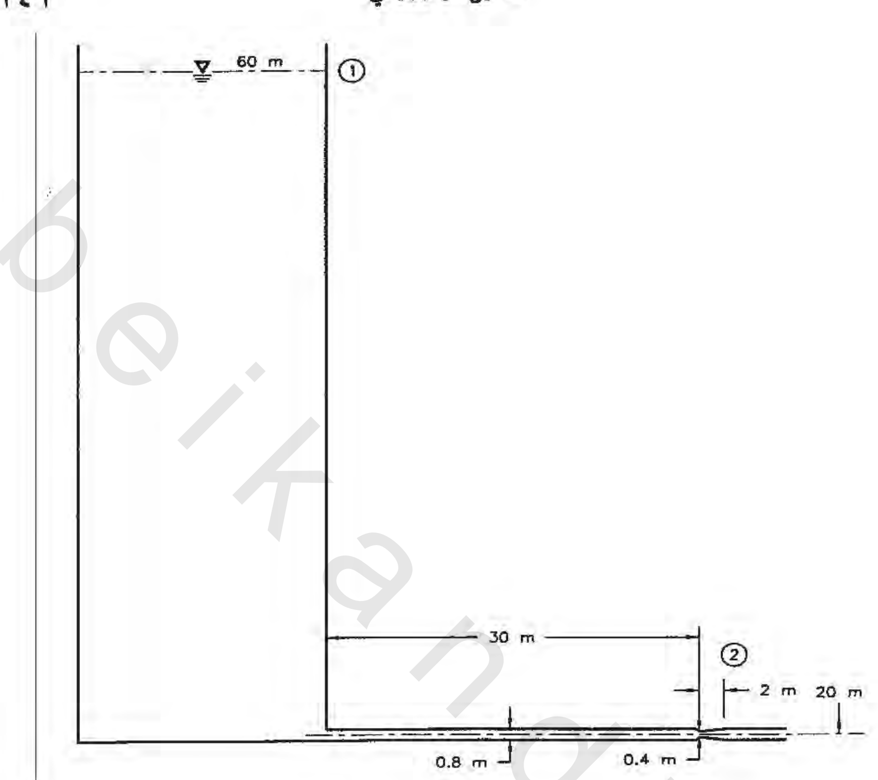
المصدر: Streeter (1971).

مثال رقم (٣,١٨): احسب التصرف الحرج الآمن للماء عند درجة حرارة ١٦° مئوية والذي يمكن أن يبدأ عنده التكهف عند موقع الصمام في مخرج المستوى المنخفض من الخزان الموضح في الشكل رقم (٣,٩). بفرض أن f تساوي ٠,٠١٥، ومعامل الفاقد عند الضيق k_c يساوي ٠,٣٠، ومعامل الفاقد عند الاتساع k_e يساوي ٠,٣٥، والضغط الجوي p_a يساوي ١٠,٣٣ م. قارن التصرف الآمن للنظام عندما يتم تثبيت قطر الأنبوب ٠,٨ م بدون وجود ضيق واتساع. بفرض أن ضغط بخار الماء عند p_v/γ عند درجة حرارة ١٦° مئوية يساوي ٠,١٨ م. لاحظ أن كلاً من k_c و k_e مسجلة بالنسبة إلى السرعة في الأنبوب الأصغر.

الحل:

لتجنب التكهف فإن الضغط عند الضيق حيث يوجد الصمام يجب أن يظل أعلى من ضغط بخار الماء. والنقطة الأولى تقع عند سطح ماء الخزان والنقطة الثانية تقع عند مركز فتحة مخرج الأنبوب.

obeikandl.com



الشكل رقم (٣,٩). الرسم التخطيطي لمخرج المستوى المنخفض.

وعن طريق معادلة الاستمرار بين النقطتين ١ و ٢:

$$V_c \times (\pi/4)(0.4^2) = V \times (\pi/4)(0.8^2)$$

وبالتالي

$$V_c = 4V$$

حيث إن:

V_c = السرعة خلال المقطع الضيق.

V = السرعة خلال قطاع الأنبوب المنتظم.

obeikandi.com

وعن طريق معادلة برنولي بين النقطتين ١ و ٢:

$$z_1 + p_a/\gamma = z_2 + p_v/\gamma + f\,L\,V^2/2\,g\,d + 0.30\,V_c^{\,2}/2g + V_c^{\,2}/2g$$
$$60 + 10.33 = 20 + 0.18 + (0.015 \times 30 \times V^2)/(2g \times 0.8) + 0.30 \times 16V^2/2g + 16V^2/2g$$

إذن:

$$V = 6.76\,m/s$$

و:

$$Q = 6.79 \times (\pi/4)(0.64) = 3.411\,m^3/s$$

أو:

$$Q = 3411\ l/s$$

إذا لم يكن هناك ضيق أو اتساع يمكن أن تؤخذ النقطة ٢ عند فتحة مخرج الأنبوب.
الآن بتطبيق معادلة برنولي بين النقطتين ١ و ٢:

$$z_1 + p_a/\gamma = z_2 + p_a/\gamma + fLV^2/2gd + V^2/2g$$
$$60 + 10.33 = 20 + 10.33 + 0.015 \times 32\,V^2/(2\,g \times 0.8) + V^2/2g$$

إذا:

$$40 = 1.60V^2/2g$$

و:

$$V = 22.15\,m/s$$

و:

$$Q = 22.15 \times (\pi/4) \times 0.64 = 11.13\,m^3/s$$

أو:

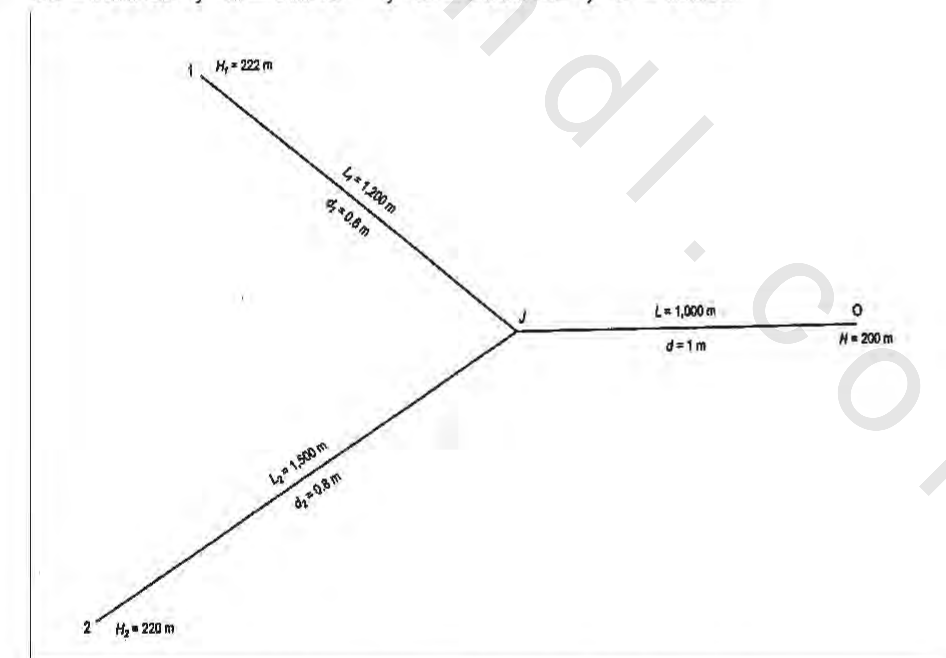
$$Q = 11130\ l/s$$

obeikandl.com

مثال رقم (٣,١٩): احسب أحجام الأفرع الجديدة (بفرض أربعة أشخاص في الموقع) التي يمكن أن تدعم بخطوط إمداد الماء الموضحة في الشكل رقم (٣,١٠). يفترض أن يتم إمداد الماء عند ضواغط من ٢٢٢ و ٢٢٠ م على الترتيب. تصرف الماء المتاح ١١٧٨,١ ل/ ث. متوسط احتياجات الماء في المنطقة ٦٥٠ ل/ شخص/ يوم. احسب أيضاً قدرة الضخ اللازمة عند الاتصال بمصدر الماء حيث يكون الضاغط المتاح بدون الضخ ٢٠٠م. رغم أنه سيتم تثبيت بعض الصمامات في النظام لهذا التحليل التمهيدي.

الحل:

$H_1 = 222\text{ m}$, $d_1 = 0.6\text{ m}$, $L_1 = 1200\text{ m}$, $f_1 = 0.018$
$H_2 = 220\text{ m}$, $d_2 = 0.8\text{ m}$, $L_2 = 1500\text{ m}$, $f_2 = 0.015$
$H = 200\text{ m}$, $d = 1.0\text{ m}$, $L = 1000\text{ m}$, $f = 0.012$



الشكل رقم (٣,١٠). الرسم التخطيطي لأنابيب إمداد المياه.

obeikandl.com

بتطبيق معادلة الاستمرارية:

(i) $V_1(\pi/4)d_1^2 + V_2(\pi/4)d_2^2 = V(\pi/4)d^2 = Q = 1.1781$

$V = 1.1781/[(\pi/4)1.0^2] = 1.5 \text{ m/s}$

بفرض أنه مع الضخ فإن الضاغط عند الاتصال بالمصدر عند O يكون H_o. وبتطبيق معادلة برنولي بين النقطتان O و ١ والنقطتان O و ٢ فإن:

(ii) $H_o = f L V^2/(2gd) + f_1 L_L V_1^2/(2gd) + H_1$

(iii) $H_o = f L V^2/(2gd) + f_2 L_2 V_2^2/(2gd) + H_2$

بمساواة المعادلتين (ii) و (iii):

$$0.018\times1200\times V_1^2/(2g\times0.6) + 222 = 0.015\times1500\times V_2^2/(2g\times0.6) + 220$$

أو:

(iv) $1.83486\times V_1^2 + 2 = 1.43349\, V_2^2$

والمعادلة (i) تعطي:

(v) $0.2827\, V_1 + 0.50265\, V_2 = 1.1781$

من المعادلة (v):

$V_1 = 4.1673 - 1.7780\, V_2$

وبالتعويض في المعادلة (iv):

$1.43349\, V_2^2 - 2 - 1.83486[3.1613\, V_2^2 - 14.8189\, V_2 + 17.36639] = 0$

أو:

$4.3671\, V_2^2 - 27.1906\, V_2 + 33.86489 = 0$

وهذا يعطي:

$V_2 = 1.7214 \text{ m/s}$ أو $V_2 = 4.50 \text{ m/s}$

o b e i k a n d l . c o m

ومن المعادلة (v) يمكن ملاحظة أنه عند قيمة $V_2 = 4.50\,m/s$ سوف تؤدى إلى قيمة سالبة لـ V_1 . إذن:

$$V_2 = 1.7214\,m/s$$

وبالتالي:

$$V_1 = 4.1673 - 1.7780 \times 1.7214 = 1.1067\,m/s$$

$$Q_1 = 1.1067 \times (\pi/4) \times 0.36 = 0.3129\,m^3/s$$

و

$$Q_2 = 1.7214 \times (\pi/4) \times 0.64 = 0.8652\,m^3/s$$

إمداد الماء اللازم لكل منزل يساوي:

$$650 \times 4 = 2600\ 1/day = 0.00003\ m^3/s$$

أقصى عدد منازل في الفرع ١:

$$0.3129 / 0.00003 = 10430$$

أقصى عدد منازل في الفرع ٢:

$$0.8652 / 0.00003 = 28840$$

الضاغط اللازم عند الاتصال مع المصدر عند النقطة O:

$$H_o = 0.012 \times 1{,}000 \times 1.5^2 / (2g \times 1.0) + 0.018 \times 1{,}200 \times (1.1067)^2 / (2g \times 0.6) + 222 = 1.376 + 2.247 + 222 = 225.623\,m$$

ضاغط الضخ اللازم عند O:

$$225.623 - 200 = 25.623\,m$$

القدرة اللازمة:

$$\gamma\,Q\,H = 1000 \times 1.1781 \times 25.623 = 30186\,kg \cdot m/s$$

openkandil.com

باستخدام كفاءة نظام كلية حوالي ٠,٨ فربما يكون من اللازم نظام ضخ ذو قدرة ٣٨٠٠٠ كجم.م/ ث.

ولتحليل شبكات عمل الأنابيب التي تتضمن أنابيب ووصلات عديدة من المفضل استخدام برامج الحاسب المتاحة (مثل Streeter 1971; Potter and Wiggert 1991; Brater *et al.* 1996; KYPIPE2 and KYPIPE3 1992).

هيدروليكا الرذاذات Hydraulics of Diffusers

يتم تصرف الماء الفائض في بعض الأحيان إلى الموقع المستقبل للماء خلال أنابيب متعددة الفتحات (الرذاذات). تتكون الرذاذة من أنبوب تمتد تقريباً عمودياً على الشاطئ وتتصل بأنبوبة أخرى (رذاذة) يمكن أن تكون موازية أو عمودية على التيار. لأنبوبة الرذاذة كثير من المخارج على مسافات متقاربة (فتحات) ملحقة بها. وإذا كان الموقع المستقبل للماء منتظماً (ليس طبقياً) وثابت (مثل بحيرة أو محيط) فإن التقدير التمهيدي للتخفيف S_a في المياه العميقة يمكن الحصول عليه من (Fischer *et al.* 1979):

$$S_a = C_0 / C = 0.38 \left(g'\right)^{1/3} y / q^{2/3} \qquad (٣,١٤٥)$$

حيث إن:

y = عمق الماء فوق المصدر.

S_a و C = التخفيف المركزي والتركيز على الترتيب على عمق y.

C_0 = التركيز المبدئي عند فتحة الرذاذة (أي عند $y = 0$).

q = تصرف الماء الفائض لكل وحدة طول من الرذاذة (م٢/ ث).

$g' = g\Delta\rho / \rho$.

ρ = كثافة الماء الفائض.

$\rho_0 - \rho = \Delta\rho$.

ρ_0 = كثافة الماء المستقبل.

يمكن ألا تقدم المعادلة رقم (٣,١٤٥) تقديرات مناسبة بسبب تأثير الحصر الناتج عن مجال الرذاذ الذي يمكن أن يتواجد بالقرب من قمة الريشة المرتفعة. والعامل التقريبي للسلامة يمكن أن يستخدم في التصميم.

والمعادلة التقريبية لتقدير متوسط تخفيف الرذاذة الموجهة عمودياً على التيار العميق المنتظم بما فيها تأثير الحصر هي (Fischer *et al.* 1979):

$$S_n = S_a / [1 + \{(Q_0 S_a)/(u L y_m)\}] \quad (٣,١٤٦)$$

حيث إن:

S_n = متوسط التخفيف في التيار العمودي الذي يشمل تأثير الحصر.

L = طول أنبوب الرذاذة.

u = سرعة التيار المحيط العمودي على الرذاذة.

y_m = أقصى ارتفاع للماء الفائض المرتفع.

Q_0 = تصرف الماء الفائض الكلي خلال الرذاذة.

متوسط التخفيف S_p لرذاذة موجهة موازية لتيار عميق منتظم يشمل تأثير الحصر يمكن أن تقرب عن طريق (Fischer *et al.* 1979):

$$S_p = 0.38 (g')^{1/3} y_m / q^{2/3} \quad (٢,١٤٧)$$

التحليل الهيدروليكي للرذاذة يتضمن استخدام معادلة دارسي-ويسباك (المعادلة رقم (٣,١٣٧)) ومعادلة تصرف الفوهة:

$$Q_0 = C_d (\pi d^2 / 4) \sqrt{(2 g H)} \quad (٣,١٤٨)$$

حيث إن:

C_d = معامل تصرف الفوهة.

H = الضاغط فوق مركز الفوهة.

d = قطر الفوهة.

يختلف معامل التصرف من حوالي ٠,٥٩ إلى ٠,٩٨ اعتماداً على شكل المدخل.

خطوات الحسابات هي كالتالي:

١- احسب التخفيف اللازم S_n أو S_p عند عمق محدد y مع توجيه الرذاذة بالنسبة إلى التيار المحيط.

٢- إذا كانت الرذاذة موجهة عمودياً على التيار المحيط افترض أن S_a من ١,٢ إلى ١,٥ من قيمة S_n واحسب q باستخدام المعادلة رقم (٣,١٤٦). وإذا كانت الرذاذة موجهة موازياً للتيار المحيط احسب q باستخدام المعادلة رقم (٣,١٤٧) مع القيم المطلوبة لـ S_p.

٣- بمعرفة تصرف الماء الفائض Q_0 احسب طول الرذاذة التمهيدي $L = Q_0 / q$.

٤- بمعرفة u ، L ، y ، S_a ، Q_0 يمكن استخدام المعادلة رقم (٣,١٤٦) للتحقق من أن S_n المطلوبة قد تحققت. وإلا عدل قيمة L . وهذه الخطوة ليست مطلوبة إذا كانت الرذاذة موجهة موازياً للتيار المحيط.

٥- عن طريق الحكم احسب المسافات المناسبة بين الفتحات $(L_1, L_2, L_3, ..., L_n)$ من ١ إلى ١٠ م تقريباً اعتماداً على الطول الكلي لأنبوبة الرذاذة وعدد الفتحات n .

٦- بفرض أن متوسط سرعة السريان من حوالي ١,٢٥ إلى ١,٨ م/ث احسب قطر أنبوب الرذاذة D .

٧- احسب أقطار الفتحات التمهيدية ($d_1, d_2, d_3, \ldots\ldots, d_n$) بين ٥ إلى ٢٤ سم تقريباً ومجموع مساحات كل الفتحات يجب أن تكون بين ١/ ٣ إلى ٢/ ٣ من مساحة القطاع العرضي لأنبوب الرذاذة.

٨- رقّم الفتحة الأخيرة المجاورة للطرف الهامد من أنبوب الرذاذة على أنها الفتحة رقم ١ واحسب القيم الأولية لكل من q_1 , d_1 , C_{d1} لهذه الفتحة.

٩- استخدم المعادلة رقم (٣,١٤٨) لتقدير الضاغط اللازم H_1 عند الفتحة.

١٠- اعتماداً على قياس أعماق الموقع للماء احسب الميل الذي عنده سوف توضع أنبوب الرذاذة، أوجد التغير في الارتفاع ($\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, \ldots\ldots, \Delta z_n$) للأنبوب المعكوسة من فتحة إلى أخرى.

١١- أوجد السرعة في الجزء الأبعد (المجاور إلى الفتحة رقم ١) من أنبوب الرذاذة، $V_1 = q_1 / \left(\pi D^2 / 4\right)$.

١٢- احسب ضاغط السرعة $V_1^2 / 2g$.

١٣- احسب الكثافة النوعية s_0 للماء المستقبل و s للماء الفائض واحسب $\Delta s = s_0 - s$.

١٤- احسب الضاغط H_2 عند الفتحة الثانية:

$$H_2 = H_1 + f\ L_1 V_1^2 / (2gD) + \Delta s (\Delta z_1) / s$$

١٥- احسب C_{d2} للفتحة الثانية باستخدام:

لمدخل الفتحة انسيابية الحافة

$$C_{d2} = 0.975 \left[1 - V_1^2 / (2\, g\, H_2)\right]^{0.375} \qquad (٣,١٤٩)$$

لمدخل الفتحة حادة الحافة

$$C_{d2} = 0.63 - \left[0.58\ V_1^2 / (2\ g\ H_2)\right] \quad (٣,١٥٠)$$

١٦- احسب: $q_2 = C_{d2}\ (\pi\ d_2^2/4)\sqrt{(2\ g\ H_2)}$

١٧- احسب: $V_2 = V_1 + \left[q_2 / (\pi\ D^2/4)\right]$

١٨- كرر الخطوات من رقم (١٢) حتى رقم (١٧) لكل الفتحات حتى الفتحة رقم n بالتتالي.

بعد هذه الحسابات التمهيدية يمكن عمل التغييرات الملائمة في أقطار الفتحات وتباعدها، ...إلخ. للحصول على تصميم مقبول للرذاذة.

مثال رقم (٣,٢٠): من المرغوب تحقيق معامل تخفيف يساوى ٨٥ عند عمق متوسط حوالي ٤٥م فوق أنبوبة الرذاذة للماء الفائض ذو معدل تصرف ٦,٥ م٣/ ث من الرذاذة إلى الجسم المستقبل للماء مع اعتبار أن $\Delta\rho/\rho = \Delta s/s = 0.025$، $f = 0.012$. وقد تم وضع أنبوبة الرذاذة على ميل ٠,٠٨ م/ م. وبفرض أن الرذاذة موجهة عمودياً على التيار المحيط وأن السرعة u تساوي ٠,٢٥ م/ ث. احسب الأبعاد الأولية للرذاذة. مخزون الماء الفائض يقع على مسافة ٢ م فوق مستوى الماء في الجسم المستقبل للماء وسوف توصل إلى أنبوبة الرذاذة مع أنبوبة طولها ١٠٠٠ م من نفس النوع والحجم. وهذه الأنبوبة لها كوعين ($k_e = 0.20$) ووصلة واحدة على شكل تي ($k_T = 1.1$). سطح الماء في الجسم المستقبل للماء هو ٦٢م فوق الفتحة الأولى (أي، قريباً من الطرف الهامد لأنبوبة الرذاذة). احسب سعة الضخ اللازمة.

الحل:

لتقدير أولي نفرض أن:

$$S_a = 1.3 \times S_n = 1.3 \times 85 = 110.5$$

ومن المعادلة رقم (٣,١٤٥):

$$110.5 = 0.38 \times (9.81 \times 0.025)^{1/3} \times 45 / q^{2/3}$$

فيكون:

$$q = 0.030\, m^3/s$$

$$L = Q_0 / q = 6.5 / 0.030 = 216.7\, m$$

اختار $L = 200\, m$

استخدم المسافات بين الفتحات ثابتة وتساوي ١,٠ م. إذا الفتحات من ١ إلى ٣٠ بقطر d يساوي ١٥ سم، والفتحات من ٣١ إلى ٦٠ بقطر d يساوي ١٤ سم، والفتحات من ٦١ إلى ١٣٠ بقطر d يساوي ١٣ سم، والفتحات من ١٣١ إلى ٢٠٠ بقطر d يساوي ١٢ سم. لاحظ أن مجموع مساحات كل الفتحات هو حوالي ٦٠٪ من مساحة القطاع العرضي للأنبوبة الرذاذة.

وبفرض أن متوسط السرعة خلال أنبوبة الرذاذة يساوي ١,٤ م/ ث، إذن:

$$A = 6.5 / 1.4 = \pi D^2 / 4$$

وبالتالي تكون $D = 2.4\, m$

بفرض أن $C_{d1} = 0.975$ و $q_1 = 0.030\, m^3/s$. إذن من المعادلة رقم (٣,١٤٨):

$$0.030 = 0.975 \times (\pi d_1^2 / 4) \times \sqrt{(2 g H_1)}$$

أي $H_1 = 0.15\, m$

$$V_1 = q_1 / (\pi D^2 / 4) = 0.030 / (\pi \times 2.4^2 / 4) = 0.00663 m/s$$

إذا تم التحكم في السرعة بحيث تكون منخفضة جداً، إذن قطر الأنبوبة قريباً من الطرف الهامد يمكن أن يقلل.

وباستخدام الخطوة رقم (١٦):

$$H_2 = 0.15 + 0.012 \times 1.0 \times (0.00663)^2 / (2 \times 9.81 \times 2.4) + 0.025 \times 0.08$$
$$= 0.152 m$$

ويفرض أن فتحات المداخل دائرية. إذن، باستخدام المعادلة رقم (٣,١٤٩):

$$C_{d2} = 0.975 \left[1 - \left\{(0.00663)^2 / (2 \times 9.81 \times 0.152)\right\}\right]^{0.375} = 0.975$$
$$q_2 = 0.975 \times (\pi d_2^{\,2} / 4) \times \sqrt{(2 g H_2)} = 0.975 \times (\pi \times 0.15^2 / 4)$$
$$\times \sqrt{(2g \times 0.152)} = 0.030 \, m^3 / s$$

والحسابات حتى الفتحة رقم ٢٠٠ يمكن تنفيذها باستخدام برنامج فورتران البسيط أو أوراق العمل. وتصرفات الفتحة المحسوبة، والسرعة خلال أجزاء أنبوبة الرذاذة من منبع السريان، و C_d للفتحة، والضاغط عند الفتحة للفتحات المختارة موضحة في الجدول رقم (٣,٣٥).

الضاغط المحسوب (فوق مستوى الماء المحيط) اللازم للرذاذة يساوي ٠,٥٨٢م. ويمكن أن تدقق الحسابات لإنجاز تصميم رذاذة مقبول.

في حالة: Q_0 يساوي ٦,٥ م٣/ث و D يساوي ٢,٤ م وأنبوب بطول ١٠٠٠ م يصل الرذاذة بمصدر الماء الفائض فإن:

$$V = 6.5 / (\pi \times 2.4^2 / 4) = 1.44 \, m/s$$

باستخدام المعادلة رقم (٣,١٣٧) فإن الفاقد في الضاغط خلال الأنبوب:

$$0.012 \times 1{,}000 \times (1.44)^2 / (2 \times 9.81 \times 2.4) + (2 \times 0.2 + 1.1) \times$$
$$1.44^2 / (2 \times 9.81) = 0.528 + 0.158 = 0.686 m$$

الضاغط الكلي اللازم لخروج الماء الفائض خلال فتحات الرذاذة:

$$0.686 + 0.582 = 1.268 \, m$$

الضاغط المتاح عند نقطة تخزين الماء الفائض (المقاس فوق أبعد فتحة):

$$(62+2)s = 64\,s \ \ kg/m^2$$

(s = الوزن النوعي للماء عند فرع النهر).

عمق الماء المحيط عند الفتحة الأولى يساوي ٦٢ م، وعمق الماء المحيط عند الفتحة الأخيرة:

$$62 - 0.08 \times 200 = 46\ m$$

متوسط الضاغط للماء المحيط مقابل ما يتسرب من الماء الفائض:

$$\{(62+46)/2\}s_0 = 54\,s_0 \ \ kg/m^2$$

(s_0 = الوزن النوعي للماء المحيط).

الضاغط الكلي اللازم لتسرب الماء الفائض خلال الفتحات:

$$54\,s_0 + 1.268\,s\ kg/m^2$$

حيث إن: $\Delta s/s = 0.025$ فإن $s_0 1.025\,s$، إذن:

$$54\,s_0 + 1.268\,s = 56.618\,s \ \ kg/m^2$$

الضاغط المطلوب كنسبة من الضاغط المتاح يكون حوالي:

$$(56.618/64) \times 100 = 88\%$$

إذن ربما لا يكون هناك حاجة للضخ ما لم يحدث صدأ للأنبوب وعوامل أخرى تعمل على زيادة الضاغط المطلوب.

Obeikandl.com

الجدول رقم (٣,٣٥). المتغيرات الهيدروليكية المحسوبة عند فتحات الرذاذة المختارة.

رقم الفتحة	تصرف الفتحة (م٣/ث)	السرعة في الأنبوب (م/ث)	Cd	ضاغط الفتحة (م)
١	٠,٠٣٠	٠,٠٠٦٦٣	٠,٩٧٥	٠,١٥٠
٢	٠,٠٣٠	٠,٠١٣	٠,٩٧٥	٠,١٥٢
٥	٠,٠٣٠	٠,٠٣٣	٠,٩٧٥	٠,١٥٨
١٠	٠,٠٣١	٠,٠٦٧	٠,٩٧٥	٠,١٦٨
٥٠	٠,٠٣٣	٠,٣٥٣	٠,٩٦٦	٠,٢٤٩
١٠٠	٠,٠٣٣	٠,٧٠٤	٠,٩٤٩	٠,٣٥٢
١٥٠	٠,٠٣٢	١,٠٦٩	٠,٩٢٨	٠,٤٦٢
٢٠٠	٠,٠٣٥	١,٤٣٦	٠,٩٠٦	٠,٥٨٢

في حالة المجاري المائية الضحلة فإن الخلط الرأسي يكون سريعاً نسبياً والتخفيف الأولي خلال تقريباً طول واحد من الرذاذة يمكن أن يقدر عن طريق (Tchobanoghlous and Burton 1991: Adams 1982):

$$S_i = \left[u\, D\, L/(2\, Q_0)\right]\left[1+\sqrt{\left\{1+(2\, Q_0\, V_0\, \cos\alpha)/(u^2\, L\, D)\right\}}\right] \quad (٣,١٥١)$$

حيث إن:

u = سرعة السريان.

Q_0 = معدل تصرف الماء الفائض.

L = طول الرذاذة.

S_i = التخفيف المبدئي.

D = عمق الماء في النهر.

V_0 = السرعة خلال فتحات الرذاذة.

openkanal.com

α = زاوية انحدار الفتحة على الأفقي المقاسة في المستوى الرأسي الموازي لاتجاه تدفق النهر.

أحياناً يلزم تقدير التخفيف عند نهاية منطقة الخلط الأولية لتصرفات الفتحة الرأسية المنفردة (مثلاً، التصرف خلال أنبوب منفرد تصرفها رأسياً لأعلى) في بحيرة أو محيط أو نهر. في مثل هذه الحالات يمكن تقدير التخفيف المبدئي عن طريق (Tchobanoglous and Burton 1991; Muellenhoff *et al.* 1985):

١- في حالة الجسم المستقبل للماء الراكد (بحيرة أو محيط بتيارات منخفضة):

$$S_i = 0.13\left(g'/D^5/Q_0^{\,2}\right)^{1/3} \qquad (٣,١٥٢)$$

٢- في حالة الماء المستقبل المتدفق (نهر):

$$S_i = 0.29\left(u\,D^2/Q_0\right) \qquad (٣,١٥٣)$$

حيث إن:

S_i = متوسط التخفيف عند نهاية منطقة الخلط الأولية.

g' = قابلية طفو الماء الفائض = $g(\rho_s-\rho)/\rho$.

ρ_s = كثافة الماء الفائض.

ρ = كثافة الماء المستقبل.

أدنى تخفيف عند منتصف الريشة، $S_m \cong 0.55\,S_i$.

مثال رقم (٣,٢١): احسب الأبعاد الأولية للرذاذة متعددة الفتحات في مجرى مائي لتحقيق تخفيف المجال القريب بحوالي ٢٠ لتصرف ماء فائض بمقدار ١,٥ م^3/ث عندما يكون متوسط التدفق المنخفض لسبعة أيام وعشر سنوات هو ٥٠ م^3/ث. وتكون فتحات الرذاذة موجهة أفقياً وموازية لاتجاه تدفق النهر. ومتوسط سرعة وعمق التدفق في النهر هي ١ م/ث و ١,٨ م، على الترتيب.

الحل:

من الملاحظات العملية ولأجل التخفيف الأولي S_i يساوي ٢٠، وبفرض أن السرعة في الفتحة V_0 تساوي ٣م/ ث. وباستخدام المعادلة رقم (٣,١٥١) مع اعتبار أن:

$u = 1\,m/s\ ,\ D = 1.8\,m\ ,\ Q_0 = 1.5\,m^3/s\ ,\ \alpha = 0$

وعن طريق المحاولة والخطأ نجد أن L يساوي ١٦ م.

وبفرض أن تباعد الفتحات ≅ عمق ماء النهر (للمجاري المائية الضحلة) = ١,٨م. وبالتالي يكون عدد الفتحات يساوي $16/1.8 \cong 9$.

أيضاً بفرض أن متوسط السرعة في أنبوبة الرذاذة هي ١,٤ م/ ث، ومتوسط قطر أنبوب الرذاذة في حالة التصرف Q_0 يساوي ١,٥ م٣/ ث، هو:

$$D = \sqrt{(1.5/1.4)\times 4/\pi} = 1.17\,m$$

وبفرض تصرف متساوي تقريباً خلال كل فتحة مع سرعة V_0 تساوي ٣ م/ ث، يكون قطر الفتحة:

$$\sqrt{[\{1.5/(9\times 3)\}\times 4/\pi]} = 0.266\,m$$

التخفيف S_i المقدر عن طريق المعادلات رقم (٣,١٥١) ورقم(٣,١٥٢) ورقم (٣,١٥٣) يزداد بارتفاع الريشة حتى سطح الماء. ولتقديرات تمهيدية يمكن إهمال هذه الزيادة ويمكن تقدير معدل التصرف Q_s عن طريق (Tchobanoglous and Burton 1991):

$$Q_s = S_i\, Q_0 \qquad (٣,١٥٤)$$

التركيز الأقصى (المركزي) في هذه الريشة C_s يقدر عن طريق:

$$C_s = C_0 / S_m \qquad (٣,١٥٥)$$

ويمكن افتراض أن طول الريشة يكون مساوياً لطول الرذاذة L. وبالتالي فإن ارتفاع الريشة h_s يعطى بالمعادلة:

$$h_s = Q_s/(u\,L) \qquad (٣,١٥٦)$$

ويمكن عمل حسابات التصرف الحقلي البعيد باستخدام المعادلات رقم (٣,١٠٥أ) ورقم (٣,١٠٦) مع Q_S = تصرف المصدر، و C_s = تركيز المصدر، و L = طول سطح المصدر الرأسي، و h_s = ارتفاع سطح المصدر الرأسي.

الطرق المائي Water Hammer

من المطلوب تقدير ضغط الطرق المائي عند تصميم خطوط الأنابيب حيث تكون الصمامات أو البوابات التي تقع عند نهاية خط الأنابيب يتم إغلاقها تدريجياً أو بشكل مفاجئ. وأحد الحالات الميدانية الشائع مصادفتها لذلك هو تحديد ضغط الطرق المائي في بربخ بسبب إغلاق بوابات الطوربين. ويمكن الحصول على قيمة محافظة من ΔH (م) بفرض الإغلاق المفاجئ للصمام أو البوابة:

$$\Delta H = a\, V_0 / g \qquad (٣,١٥٧)$$

حيث إن:

V_0 = سرعة السريان الأولية في الأنبوب.

a = سرعة موجة الضغط في الأنبوب.

إذا كان الصمام موضوعاً على بعد مسافة L من حوض السد فإن إغلاق الصمام المفاجئ يمكن أن يحدث إذا كان $T \le 2L/a$ ، حيث T = زمن إغلاق الصمام. وسرعة موجة الضغط تعطى بالمعادلة:

$$a = \sqrt{\left[E_w / (\gamma/g)\left(1 + d\, E_w / (E_p\, t)\right)\right]} \qquad (٣,١٥٨)$$

حيث إن:

E_w = معامل المرونة الحجمي للماء (كجم/ م٢).

E_p = معامل مرونة جدران الأنبوب (كجم/ م٢).

t = سمك جدران الأنبوب (م).

d = القطر الداخلي للأنبوب (م).

لإغلاق بطيء للصمام أو البوابة فربما يكون من المفضل استخدام نماذج الحاسب المتاحة (مثلاً، Streeter 1971; Watters 1984; SURGE5).

مثال رقم (٣,٢٢): حوض سد يتصل بنقطة التوزيع عن طريق خط أنابيب بطول ١٠٠٠ م وقطر ١٥ سم من الفولاذ. تحمل الأنبوب تصرف ٤٤ ل/ ث عندما يكون الصمام الواقع عند نقطة التوزيع يتم إغلاقه بسرعة. احسب ضغط الطرق المائي عند الصمام. بعد ٠,٥ ث من إغلاق الصمام، فإنه عندما يتعرض مقياس الضغط الموضوع عند الصمام إلى هبوط مفاجئ في الضغط مشيراً إلى تسريب في خط الأنابيب. احسب موضع التسريب. على اعتبار أن:

$$E_w = 21100\ kg/cm^2 \quad , \quad E_s = 2.04\times10^6\ kg/cm^2$$
$$t = 12\ mm \quad , \quad \gamma = 1000\ kg/m^3$$

الحل:

$$\{(\gamma/g)(1+dE_w/(E_p t))\} = (1{,}000/9.81)[1+\{15\times21{,}100/(2.04\times10^6\times1.2)\}]$$
$$= 115.116$$

$$a = \sqrt{[21{,}100\times10^4/115.116]} = 1351.86\ m/s$$

$$V = 0.044/(\pi\times0.15\times0.15/4) = 2.49\ m/s$$

ضغط الطرق المائي:

$$aV/g = 1353.86\times2.49/9.81 = 343.6\ m$$

يجب أن تكون الأنبوبة قادرة على تحمل هذا الضغط المفرط.

كما يتضح أن موجة الضغط تصل إلى نقطة التسريب وتعود الاستجابة إلى الصمام في ٠,٥ ث، أي أن $2L'/a = 0.5$، حيث L' = مسافة التسريب من الصمام:

$$L' = 0.5\times1353.86/2 = 338.46\ m$$

النماذج الهيدروليكية

Hydraulic Models

بعض نماذج حاسب الملكية العامة الرقمية الشائعة الاستخدام لأنواع مختلفة من التحليلات الهيدروليكية مذكورة وموضحة أدناه:

• **نموذج القطاعات الجانبية لسطح الماء HEC-2** (USACE 1991c): هذا النموذج يقوم بحساب القطاعات الجانبية لسطح الماء للتدفقات أحادية البعد المتغيرة تدريجياً في الحالة الثابتة في القنوات الطبيعية أو التي من صنع الإنسان. ويمكن أن يستخدم لحساب أثار السدود أو البنايات في القناة. ويتم عمل الحسابات الهيدروليكية باستخدام نموذج الخطوة القياسية. ويمكن تطبيقه لكل من السريان فوق الحرج وتحت الحرج. وفي السريان تحت الحرج يتم ترتيبهم من مصب النهر إلى منبع النهر. في السريان فوق الحرج يتم ترتيبهم من منبع النهر إلى مصب النهر. ويتم تحديد هندسة القطاعات العرضية من يسار إلى يمين مصب النهر. لدى النموذج القدرة على أداء الحسابات الهيدروليكية خلال الجسور والبرابخ وسدود التدفق الجانبية وتجاوزات السهول الفيضية والتدفقات المتفرعة. وبالإضافة إلى القطاعات الجانبية لسطح الماء يقوم النموذج بحساب سرعات القناة وعلى الضفاف، ومساحات التدفق، والتصرفات، وارتفاع درجة الطاقة، والفواقد، وعرض المصطبة عند كل قطاع عرضي. ويمكن أيضاً أن يقدم توزيع السرعة في الأجزاء المختارة من القطاعات العرضية.

• **نظام تحليل النهر HEC-RAS** (USACE 1998): هذا النموذج هو برنامج قطاع جانبي لسطح الماء يعتمد على النوافذ، والذي يستبدل نموذج HEC-2 الموصوف سابقاً. ويمكن أن يستخدم البيانات المطورة لنموذج HEC-2، أو يمكن للمستخدم أن

يدخل البيانات بشكل محدد لأجل هذا النموذج. ويتفاعل المستخدم مع النموذج من خلال السطح البيني التخطيطي للمستخدم لإدارة الملفات، وإدخال وتحرير البيانات، والتحليلات الهيدروليكية، والعروض التخطيطية للمدخلات والمخرجات، وإعداد التقارير. ويمكنه أداء حسابات السريان فوق الحرج وتحت الحرج والمختلطة ويمكنه أن يحاكي تجاوزات طرق الفيضان، والجسور والبرابخ، والانجراف عند الجسور، والتدفقات المتفرعة. ويمكن عرض المدخلات والمخرجات وطباعتها بشكل تخطيطي. وأيضاً يمكن تصدير النتائج المحسوبة إلى ملفات GIS و CADD.

• **القطاعات الجانبية لسطح الماء WSP-2** (USDA 1976): هذا النموذج يحاكي خصائص التدفق لمجموعة محددة من أحوال المجرى المائي والسهل الفيضي. وهو يقوم بحساب القطاعات الجانبية لسطح الماء في القنوات المفتوحة وتقديرات الفواقد في الضاغط في القطاعات المغلقة، بما فيها الطرق المعبّدة مع فتحات الجسور أو البرابخ. وبصفة عامة يؤدى النموذج نفس حسابات نموذج HEC-2 (USACE 1991c).

• **نموذج تصدع السد DAMBRK** (Fread 1988): وهو نموذج معقد نسبياً لمحاكاة ارتفاعات سطح الماء الناتجة عن أعطال السد. وهو يشمل مكون خرق لتقدير المواصفات الزمنية والهندسية لمجموعة محددة من العوامل بها خلل. ويقوم النموذج بحساب المنحنى المائي للتدفق في حالة الخلل بما فيها آثار إفراغ مخزون حوض السد وتدفقات حوض السد ويستخدم تقنية التحديد الديناميكي لتقدير ارتفاعات سطح الماء وأزمنة وصول موجة فيضان تصدع السد عند قطاعات عرضية مختلفة للسد في اتجاه مصب التيار. ويمكنه أداء الحسابات في حالة السريان تحت الحرج وفوق الحرج والمتغير ويمكن أن يدمج آثار سد الجسور والسدود الأخرى، وتدفقات الأنقاض،

وأمواج حوض السد الناتجة من الانزلاق الأرضي، والسهول الفيضية. وعادةً يتطلب تحليل تصدع النهر استخدام هذا النموذج ويتم أداؤه على أنه دراسة خاصة.

• **الانجراف والترسيب في الأنهار وأحواض السدود HEC-6** (USACE 1991d): وهو نموذج أحادي البعد يقوم بحساب أعماق الانجراف أو الترسيب عند قطاعات عرضية مختلفة من القناة أو حوض السد. وتشمل بيانات المدخلات الأساسية هندسة القطاعات العرضية الشبيهة بنموذج HEC-2 (USACE 1991c) وجداول أحمال الرواسب مقابل التصرفات، وتدرج الرواسب المعلقة ومادة القاع عند قطاعات عرضية عديدة. والمنحنيات المائية للتصرفات هي مدخل كدالة فترة من الفترات الزمنية. ويمكن أن يقوم النموذج بأداء حسابات نقل حمل القاع باستخدام واحدة من دوال النقل الـ ١٢ المحتواة في النموذج. ويمكن أن يحاكي ترسيب وانجراف الطين وجزيئات الطمي بالحجم الدقيق، ويقوم بضبط تقديرات نقل الرواسب لأحمال الغسل.

• **برنامج تحليل البربخ** (CAP 2001): يستخدم هذا النموذج الإجراءات القياسية الخاصة بالنموذج USGS لحساب التدفق خلال البرابخ. ويمكن أن يقوم بتقدير علاقات مرحلة التصرف للبرابخ المستطيلة والدائرية وقنطرة الأنبوبة والبرابخ الاهليجية والبرابخ الأخرى الغير قياسية الشكل. ويقوم النموذج بحل طاقة الحالة المستقرة أحادية البعد ومعادلات التسلسل لارتفاع سطح الماء من اتجاه منبع التيار وارتفاعات سطح الماء في اتجاه مصب التيار. ويمكن أن يتم تحميله من الموقع:
http://www.waterengr.com/freeprog.htm

• **نماذج جودة مياه المجاري المائية المحسنة، QUAL2E and QUAL2E-UNCAS** (USEPA 1987a): هذان هما أداتان لتخطيط جودة المياه الذي يمكن تشغيلهما كنماذج

ثابتة أو متحركة. وهما يستخدمان لدراسة أثار أحمال المخلفات على جودة مياه المجرى المائي أو لتحديد خصائص كمية وجودة أحمال المخلفات غير المرحلية كجزء من برنامج أخذ العينات في الحقل. ويمكن استخدامها كذلك لعمل نموذج لأثار الاختلافات اليومية في المتغيرات الجوية على جودة المياه (بشكل أساسي، الأكسجين المذاب والحرارة) أو لاختبار الاختلافات المذابة اليومية التي يتسبب فيها نمو وتنفس الطحالب. وللنموذجين القدرة على التحليل غير الأكيد، الخيار لمدخل متغير علم المناخ المتغير الوصول في محاكاة درجة حرارة الحالة المستقرة، والخيار لرسم تركيزات الأكسجين المذاب الملاحظ والمتوقع.

• **نموذج منطقة الخلط الهيدروديناميكية ونظام دعم القرار لتصرفات المادة الملوثة في أسطح المياه CORMIX** (USEPA 1996a): هذا النموذج يتنبأ بتخفيف ومسار قذف التصرفات المغمورة أحادية الفتحة، وتصرفات الرذاذة المغمورة متعددة الفتحات، وتصرفات سطح الكثافة الاختيارية (موجب، متعادل، سالب) في البيئة الطبقية أو منتظمة الكثافة مع أو بدون التدفق العرضي. ويقوم النموذج باختبار ترابط وتجانس البيانات، ويقوم بتنفيذ النماذج الهيدروديناميكية الملائمة، ويقوم بتفسير النتائج بدلالة معايير التصرف المنتظم. وهو يرشد إلى الخلط الأولي السريع ويفترض وجود تصرف المادة الملوثة المحافظ مع إهمال أي عملية للتفاعل أو التحلل.

• **نماذج التخفيف لتصرفات أفرع النهر، PLUMES** (USEPA1994): يعد هذا النموذج مفيداً عند تصميم رذاذات مخرج التصريف حيث يكون السريان المحيط غير طبقي ويكون الجسم المستقبل للماء عميقاً نسبياً. وهو يشمل نموذجين تخفيف أولية معقدين نسبياً ونظامين للعد العشري في الموقع البعيد بسيطين نسبياً. وتشمل المدخلات المطلوبة شكل الفتحة والتباعد والتصرف الكلي وقطر وعمق الريشة

ودرجة ملوحة تفرع النهر والحرارة والظروف المحيطة في الماء المستقبل ومسافة الموقع البعيد للحسابات. ومقارنةً بنموذج CORMIX (USEPA 1996a) فإن هذا النموذج أبسط في الاستخدام.

• **جودة المياه في حالة أنظمة النهر–حوض السد WQRRS** (USACE 1978):

يتكون هذا النموذج من ثلاث وحدات قياس منفصلة: حوض السد وهيدروليكا المجرى المائي ووحدة قياس جودة المجرى المائي. ويمكن تكامل الثلاث وحدات لتحليل جودة مياه حوض النهر الكامل. ويمكن أيضاً تنفيذ هيدروليكا المجرى المائي وحوض السد على أنها نماذج مستقلة. وتعمل وحدة قياس جودة المجرى المائي مع وحدة قياس هيدروليكا المجرى المائي. وتكون وحدة قياس حوض السد قابلة للتطبيق في خزانات تجميع الماء العميقة نسبياً مع فترات الإقامة الطويلة. ويمكن معالجة خزانات تجميع الماء الضحلة ذات السريان السريع خلال الأوقات على أنها مجارى مائية بطيئة الحركة. وتقوم وحدة قياس هيدروليكا المجرى المائي بحساب المتغيرات الهيدروليكية للتدفق المتغير بانتظام في أنظمة السريان المستقرة وغير المستقرة. وتقوم وحدة قياس جودة المجرى المائي بمحاكاة قمة أحمال المادة الملوثة في البيئة الهيدروليكية المستقرة أو غير المستقرة. هذا النموذج يعد معقداً بعض الشيء والمشروعات التي تتضمن استخدام هذا النموذج يجب أن تعامل على أنها دراسات خاصة.

obeikandi.com

المياه الجوفية
GROUNDWATER

تواجد المياه الجوفية وأنواع الوسط المسامي
Occurrence of Groundwater and Types of Porous Media

توجد المياه الجوفية في مسامات التربة أو تشققات الصخور على شكل رطوبة مدمصة أو ماء مستخرج. والماء المدمص هو الماء الممسوك بجزيئات التربة ولا يمكن استخراجه إلا بواسطة فرن التجفيف. ويمكن استخراج المياه المدمصة بواسطة النباتات، والصرف بالجاذبية الأرضية، أو عن طريق الضخ. وتعتمد معدلات استخراج الماء على نفاذية الوسط المسامي وكمية المياه الممسوكة في التربة أو تشققات الصخور. وتسمى كتلة التربة أو الصخور التي يمكن أن تنتج كميات معقولة من المياه بالطبقة الحاملة للمياه. وتصنف الطبقات الحاملة للمياه من حيث قابليتها لانتقال الماء إلى:

١- طبقة المياه الجوفية المحصورة: وهذا النوع من الطبقات يحدها تكوينات غير منفذة من أعلاها وأسفلها.

٢- طبقة المياه الجوفية الارتوازية: وهي طبقة المياه الجوفية الارتوازية عندما يكون الضاغط البيزومتري أكبر من مستوى طبقة المياه الجوفية. والضاغط البيزومتري هو الارتفاع الذي تصل إليه المياه الجوفية في أنبوب موضوع في طبقة المياه الجوفية.

٣- طبقة المياه الجوفية الحرة، منسوب المياه الجوفية، أو طبقة المياه الجوفية غير محصورة: وفي هذا النوع من طبقة المياه الجوفية يكون منسوب المياه عند الضغط الجوي بوصفه الحد الأعلى له.

٤- الطبقة المقيدة: هي الطبقة التي تشمل تكوينات شبه منفذة والتي تعيق حركة المياه عبرها، ومنطقة غير منفذة وتمنع حركة المياه عبرها.

٥- طبقة المياه الجوفية شبه محصورة أو المحصورة المتسربة: هي طبقة المياه الجوفية التي يمكن أن تكتسب أو تفقد المياه عن طريق قاع أو قمة طبقة شبه منفذة.

٦- طبقة المياه الجوفية الحرة المتسربة: وهي طبقة المياه الجوفية التي تقع على طبقة شبه منفذة من خلالها يمكن أن تكتسب أو تفقد المياه.

٧- طبقة المياه الجوفية المعلقة: وهي طبقة المياه الجوفية حيث توجد طبقة غير منفذة أو طبقة شبه منفذة لمساحة محدودة التمدد بين الماء الحر في طبقة المياه الجوفية وسطح الأرض. وتحتجز المياه الجوفية في الطبقة غير المنفذة والتي تقع على الطبقة غير المنفذة أو شبه المنفذة.

خواص الوسط المسامي
Properties of Porous Media

يتناول هذا الفصل الخصائص الفيزيائية للأوساط المسامية والماء والتي تستخدم عادة في تحليل سريان وانتقال الماء الجوفي.

وحدة الوزن هي وزن المادة منسوبة لوحدة الحجم، وأما الكثافة فهي وحدة الوزن مقسومة على قيمة عجلة الجاذبية الأرضية، والجاذبية النوعية هي وحدة الوزن للمادة منسوبة إلى وحدة الوزن للماء.

obeikandl.com

إذا كان V_s هو الحجم المشغول بواسطة حبيبات التـربة من الحجم الكلي V، و V_v حجم الفراغات، و V_w الحجم المشغول بالماء، و W الوزن الكلي للتربة ذات الحجم V، و γ_w أو γ هي وحدة الوزن للماء، و W_s وزن حبيبات التـربة في الحجم V، و W_w وزن الماء في التربة ذات الحجم V فإن:

وحدة الوزن للجزيئات أو وحدة الوزن لحبيبات التربة:

$$\gamma_s = W_s / V_s$$

وحدة الوزن الظاهرية الجافة للتربة:

$$\gamma_d = W_s / V$$

وحدة الوزن الرطبة للتربة:

$$\gamma_m = (W_s + W_w) / V$$

المسامية الكلية:

$$\varphi = V_v / V$$

نسبة الفراغات:

$$e = V_v / V_s$$

المحتوى المائي:

$$\omega = W_w / W_s$$

المحتوى المائي الحجمي:

$$\varphi_w = V_w / V_s$$

المحتوى الغازي أو حجم الهواء في منطقة فراغات التربة غير المشبعة:

$$\varphi - \varphi_w$$

درجة التشبع أو التشبع:

$$S_r = V_w / V_v$$

وحدة الوزن المغمورة لحبيبات التربة:

$$\gamma_s - \gamma_w$$

الحجم الكلي للتربة:

$$V = V_s + V_v$$

الحجم المشغول بالغاز أو الهواء:

$$V_g = V_v - V_w$$

ومما سبق يمكن استنتاج أن:

$\varphi = e/(1+e)$ أو $e = \varphi/(1-\varphi)$

و $\gamma_d = (1-\varphi)\gamma_s$

وللتربة المشبعة $\gamma_m = \gamma_d + \varphi\gamma_w$ و $\varphi_w = (\omega\gamma_s)/\gamma_w$

ويوضح الجدول رقم (٤,١) قيم المسامية، ووحدة أوزان الحبيبات، ووحدة الوزن الظاهرية الجافة لبعض الأوساط المسامية (USEPA 1985).

ويلخص الجدول رقم (٤,٢) الخصائص الفيزيائية للماء النقي عند الضغط الجوي (USEPA 1985).

النفاذية والتوصيل الهيدروليكي Permeability and Hydraulic Conductivity

تعرف خاصية انتقال الماء خلال الوسط المسامي إما بالنفاذية أو التوصيل الهيدروليكي. والنفاذية أو النفاذية الذاتية k (سم٢) هي خاصية مرتبطة بالوسط المسامي وتُعرف بالمعادلة:

$$k = C\,d^2 \qquad (٤,١)$$

obeikandi.com

الجدول رقم (٤,١). المسامية، ووحدة أوزان الجزيئات، ووحدة الأوزان الظاهرية الجافة للأوساط المسامية.

المادة	المسامية (٪)	وحدة أوزان الجزيئات (جم/ سم^3)	وحدة الأوزان الظاهرية الجافة (جم/ سم^3)
طين	٥٦,٩-٣٤,٢	٢,٧٧-٢,٥١	١,٧٢-١,١٨
غروي	٦١,١-٣٣,٩	٢,٧٩-٢,٤٧	١,٧٩-١,٠١
رمل ناعم	٥٣,٣-٢٦,٠	٢,٧٧-٢,٥٤	١,٩٩-١,١٣
رمل متوسط	٤٨,٩-٢٨,٥	٢,٧٧-٢,٦	١,٩٣-١,٢٧
رمل خشن	٤٦,٤-٣٠,٩	٢,٧٣-٢,٥٢	١,٩٤-١,٤٢
حصى ناعم	٣٨,٥-٢٥,١	٢,٧٦-٢,٦٣	١,٩٩-١,٦
حصى متوسط	٤٤,١-٢٣,٧	٢,٧٩-٢,٦٥	٢,٠٩-١,٤٧
حصى خشن	٣٦,٥-٢٣,٨	٢,٧٦-٢,٦٤	٢,٠٨-١,٦٩
رواسب طفلية	٥٧,٢-٤٤,٠	٢,٧٤-٢,٦٤	١,٦٢-١,٢٥
كثبان رملية	٥٠,٦٧-٣٩,٩	٢,٧٠-٢,٦٣	١,٧٠-١,٣٣
أرض محروثة، غروية سائدة	٤٠,٦-٢٩,٥	٢,٧٧-٢,٦٤	١,٩١-١,٦١
أرض محروثة، رملية سائدة	٣٦,٧-٢٢,١	٢,٧٣-٢,٦٣	٢,١٢-١,٦٩
أرض محروثة، صخرية سائدة	٣٠,٣-٢٢,١	٢,٧٨-٢,٦٧	٢,١٢-١,٧٢
انجراف جليدي، غروية سائدة	٥٩,٣-٣٨,٤	٢,٧٣-٢,٧٠	١,٦٦-١,١١
انجراف جليدي، رملية سائدة	٤٧,٦-٣٦,٢	٢,٧٥-٢,٦٥	١,٨٣-١,٣٦
انجراف جليدي، صخرية سائدة	٤١,٥-٣٤,٦	٢,٧٥-٢,٦٥	١,٧٨-١,٤٧
حجر رملي (حبيبات دقيقة)	٤٩,٣-١٣,٧	٢,٧٢-٢,٥٦	٢,٣٢-١,٣٤
حجر رملي (حبيبات متوسطة)	٤٣,٦-٢٩,٧	٢,٦٩-٢,٦٤	١,٨٦-١,٥٠
حجر غروي	٤١,٠-٢١,٢	٢,٦٩-٢,٣٤	١,٨٦-١,٥٠

obeikandl.com

تابع الجدول رقم (٤,١).

المادة	المسامية (٪)	وحدة أوزان الجزيئات (جم/ سم³)	وحدة الأوزان الظاهرية الجافة (جم/ سم³)
حجر طيني	٤١,٢-٤٥,٢	٢,٥٢-٢,٨٩	١,٣٥-٢,١٢
صلصال	١,٤-٩,٧	٢,٥٠-٢,٧٦	١,٣٧-١,٦٠
حجر جيري	٦,٦-٥٥,٧	٢,٤٧-٢,٨٨	٢,٢٠-٢,٧٢
غني بالرخام	١٩,١-٣٢,٧	٢,٦٨-٢,٨٨	١,٢١-٢,٦٩
جرانيت (معالج)	٣٤,٣-٥٦,٦	٢,٦٤-٢,٧٢	١,٨٣-٢,٢
بازلت	٣,٠-٣٥,٠	٢,٧٠-٢,٨٤	١,٢١-١,٧٨
صخر متبلر	٤,٤-٤٩,٣	٢,٩٥-٣,١٥	١,٩٩-٢,٨٩

المصدر: USEPA (1985).

الجدول رقم (٤,٢). الخواص الطبيعية للماء النقي.

درجة الحرارة (م°)	وحدة الوزن (جم/ سم³)	اللزوجة الديناميكية (جم/ سم.ث)	اللزوجة الكينامتيكية (سم²/ ث)	الانضغاطية (سم.ث²/ جم)
٤	١,٠٠٠٠٠	٠,٠١٥٦٧	٠,٠١٥٧	٤,٩٥٩×١٠$^{-١١}$
١٠	٠,٩٩٩٧٣	٠,٠١٣٠٧	٠,٠١٣١	٤,٧٨٩×١٠$^{-١١}$
١٥	٠,٩٩٩١٣	٠,٠١١٣٩	٠,٠١١٤	٤,٧٦٨×١٠$^{-١١}$
٢٠	٠,٩٩٨٢٣	٠,٠١٠٠٢	٠,٠١٠٠٤	٤,٥٩١×١٠$^{-١١}$
٢٥	٠,٩٩٧٠٨	٠,٠٠٨٩٠	٠,٠٠٨٩٣	٤,٥٢٤×١٠$^{-١١}$

المصدر: USEPA (1985).

obeikandi.com

حيث إن:

d = الحجم المتوسط لحبيبات الوسط المسامي (سم).

C = معامل.

ويعتمد المعامل C على المسامية، وشكل المسام، وشكل مسار المسام. وتتراوح قيم C للرمل من $١٠^{-٦}$ إلى $١٠^{-٤}$. ويبين الجدول رقم (٤,٣) القيم النموذجية لمتوسط حجم الحبيبات و k (USEPA 1985).

الجدول رقم (٤,٣). القيم النموذجية للنفاذية k ومعامل التوصيل الهيدروليكي K.

المادة	متوسط حجم الحبيبات (مم)	k (سم٢)	K (سم/ث)
طين بحري غير مصقول	٠,٠٠١ – ٠,٠٠٩	$١٠^{-١٦}$ – $١٠^{-١٢}$	$١٠^{-١١}$ – $١٠^{-٧}$
غروي غير متماسك	٠,٠٠٩ – ٠,٠٧٤	$١٠^{-١٢}$ – $١٠^{-٨}$	$١٠^{-٧}$ – $١٠^{-٣}$
رمل غروي	٠,٠٧٤ – ٠,٢٩٧	$١٠^{-١٠}$ – $١٠^{-٦}$	$١٠^{-٥}$ – $١٠^{-١}$
رمل نظيف	٠,٢٩٧ – ٤,٧٦	$١٠^{-٩}$ – $١٠^{-٥}$	$١٠^{-٤}$ – ١
حصى نظيف	٤,٧٦ – ٧٩,٢	$١٠^{-٦}$ – $١٠^{-٣}$	٠,١٠ – ١٠٠
حجر رملي	–	$١٠^{-١٣}$ – $١٠^{-٩}$	$١٠^{-٨}$ – $١٠^{-٤}$
حجر جيري	–	$١٠^{-١٢}$ – $١٠^{-٩}$	$١٠^{-٧}$ – $١٠^{-٤}$
حجر جيري حمضي	–	$١٠^{-٩}$ – $١٠^{-٥}$	$١٠^{-٤}$ – ١
صلصال	–	$١٠^{-١٦}$ – $١٠^{-١٢}$	$١٠^{-١١}$ – $١٠^{-٧}$
كسر الحجارة أو حجر متحول	–	$١٠^{-١١}$ – $١٠^{-٧}$	$١٠^{-٦}$ – $١٠^{-٢}$
فحم متحجر*	–	–	$١,٢ \times ١٠^{-٤}$ $٢,٣ \times ١٠^{-٣}$

المصدر: USEPA (1985).

* المصدر: Bradley and Gilvear (2000).

obeikandl.com

اعتماداً على الاختلاف المكاني لخصائص انتقال الماء، يصنف الوسط المسامي إلى متجانس أو غير متجانس. الوسط المسامي المتجانس هو الذي له نفس النفاذية عند جميع النقاط، وإذا كان غير ذلك فانه يصنف على أنه غير متجانس. ويعتبر الوسط المسامي متماثل الخواص إذا كانت النفاذية متساوية في كل الاتجاهات (الأفقية، الرأسية، الخ). وخلاف ذلك يقال انه متباين الخواص. ويكون الوسط المسامي متجانس ومتباين الخواص إذا اختلفت قيمة التوصيل الهيدروليكي في الاتجاهات المختلفة (K_x، K_y، في الاتجاهين السيني والصادي على التوالي) ولكن لا تتغير من نقطة إلى أخرى. ويعتبر متماثل الخواص وغير متجانس إذا كانت $K_1=K_{x1}=K_{y1}$ عند النقطة ١ و $K_2=K_{x2}=K_{y2}$ عند النقطة ٢ (أي أن التوصيل الهيدروليكي في الاتجاهات المختلفة له نفس القيم والتغيير من نقطة إلى نقطة). ويعتبر متباين الخواص وغير متجانس إذا كانت $K_{x1}\neq K_{y1}\neq K_{x2}\neq K_{y2}$.

يمكن إيجاد معامل التوصيل الهيدروليكي المكافئ $\overline{K}$، للسريان المتعامد مع عدد n من الطبقات المختلفة السمك (H_1, H_2 , $H_3, \ldots H_n$) ومعامل التوصيل الهيدروليكي لها ($K_1, K_2, K_3, \ldots\ldots, K_n$) من المعادلة التالية:

$$\overline{K}=\left(H_1+H_2+H_3+\ldots\ldots+H_n\right)/\left[\left(H_1/K_1+H_2/K_2+\right.\right.$$
$$\left.\left.=H_3/K_3+\ldots\ldots+H_3/K_3\right)\right] \quad (٤,٢)$$

وفي بعض النماذج الرياضية لسريان المياه الجوفية مثل (MODFLOW, USEPA 2000)، تعرف الموصلية C للسريان خلال وحدة المساحات للطبقة ذات السمك H، معامل التوصيل الهيدروليكي لها K، من خلال:

$$C=K/H \quad (٤,٣)$$

وهكذا تصبح المعادلة رقم (٤,٢) كالتالي:

$$\overline{C} = \overline{K}/(H_1 + H_2 + H_3 + ... + H_n)$$

و

$$(1/\overline{C}) = [1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + ... + 1/C_n] \quad (٤,٤)$$

ومعامل التوصيل الهيدروليكي المكافئ للسريان الموازي للطبقات n بسماكات ومعاملات توصيل هيدروليكي مختلفة يمكن إيجاده من المعادلة التالية:

$$\overline{K} = (K_1\ H_1 + K_2\ H_2 + K_3\ H_3 + ... + K_n\ H_n)/[(H_1 + H_2 + $$
$$= + H_3 + ... + H_n)] \quad (٤,٥)$$

مثال رقم (٤,١): في نموذج سريان للمياه الجوفية، الطبقة الأولى سمكها ١٦ م والطبقة الثانية سمكها ٢٣,٥ م، ومعامل التوصيل الهيدروليكي الرأسي للطبقتين الأولى والثانية يساوي ٢,٠ و ٥,٠ م/يوم، على التوالي. احسب الموصلية بين هاتين الطبقتين.

الحل:

$$C_1 = K_1/H_1 = 2.0/16.0 = 0.125\ day^{-1}$$

و

$$C_2 = K_2/H_2 = 5.0/23.5 = 0.2128\ day^{-1}$$

وحيث

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2$$

أو

$$C = (C_1\ C_2)/(C_1 + C_2) = (0.125\ \times 0.2128)/(0.125 + 0.2128) = 0.0787\ day^{-1}$$

openkendal.com

السريان المستقر أحادي الاتجاه للمياه الجوفية
One-Dimensional Steady-State Groundwater Flow

السريان الدارسي Darcian Flow

إن سريان المياه الجوفية يرضخ لقانون دارسي:

$$V = K\ i \qquad (٤,٦)$$

إذا كان رقم رينولد (Re)، $R_e = V\ d/\nu$، يتراوح بين ١ و ١٠.

حيث إن:

V = سرعة السريان لوحدة المساحات لكتلة التربة والتي تشمل مساحة الفراغات.

K = معامل التوصيل الهيدروليكي.

i = الميل الهيدروليكي ويمثل بجيب زاوية ميل خط التدرج الهيدروليكي.

d = متوسط حجم الحبيبات للوسط المسامي.

ν = اللزوجة الكينماتيكية للماء.

ويعتمد معامل التوصيل الهيدروليكي على نفاذية الوسط المسامي وكذلك اللزوجة الكينماتيكية للماء ويمكن تعريفه بالمعادلة:

$$K = k\ g/\nu \qquad (٤,٧)$$

القيم النموذجية لـ K مبينة في الجدول رقم (٤,٣). السرعة v خلال الفراغات للمادة المسامية حيث الملوثات الذائبة في الماء ويمكنها التحرك تعرف بسرعة النز، السرعة الخطية أو سرعة المسام توجد من المعادلة:

$$v = V/\varphi \qquad (٤,٨)$$

حيث φ المسامية. ويمكن إيجاد السريان الثابت للماء الجوفي من الخزان إلى المجرى لكل وحدة عرض متعامد على السريان للطبقة الضيقة من المعادلة التالية:

$$q = K\ i\ A = K\ \left[(H_1 - H_2)/L\right]\ (B \times 1.0) \quad (٤,٩)$$

حيث إن:

q = التصرف (م^٣/ ث).

i = الميل الهيدروليكي = $\left[(H_1 - H_2)/L\right]$.

A = مساحة الوسط المسامي المتعامد على اتجاه خط الميل الهيدروليكي.

H_1 = الضاغط في الخزان الجوفي فوق خط المقارنة.

H_2 = الضاغط في المجرى فوق نفس خط المقارنة.

B = سمك الطبقة الصخرية الضيقة.

وفي حالة الطبقة الصخرية غير الضيقة فيفترض أن ميل خط الماء صغير جداً ويمكن إيجاده من ظل الزاوية θ بدلاً من جيب الزاوية θ حيث θ هي زاوية ميل خط التدرج الهيدروليكي، ويفترض أن سريان الماء الجوفي منتظم وأفقي، وتعرف هذه بفرضية ديوبتي Dupuit (Todd 1980) . وبهذه الفرضية فإن:

$$q = -K\ (h \times 1.0)\ dh/dx = -\ (K/2)\ dh^2/dx \quad (٤,١٠)$$

حيث h هو الضاغط فوق مستوى المقارنة عند المسافة x من الخزان، وعلامة السالب تشير إلى أن الضاغط يقل في الاتجاه الموجب لـ x، أي بزيادة قيمة x، وبتكامل المعادلة رقم (٤,١٠) بالنسبة لـ H_1 و H_2، في الخزان والمجرى على الترتيب، يكون:

$$q = (K/2\,L)\ \left[H_1^2 - H_2^2\right] \quad (٤,١١)$$

وفي أي وقت تقدر q والضاغط h والمسافة x ويمكن تقدير شكل السطح من المعادلة:

$$q = (K/2\,x)\ \left[H_1^2 - h^2\right] \quad (٤,١٢)$$

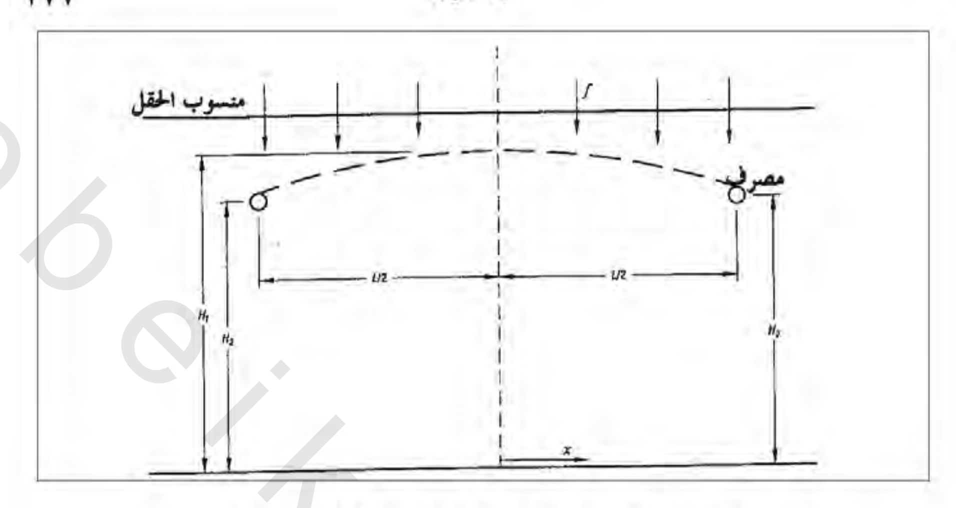
والمعادلتان رقم (٤,١١) ورقم (٤,١٢) لا تشملان الواجهة التي تتكون عبر ميل خط جانب المجرى فوق سطح الماء في النهر، وبسبب هذا وبناءاً على فروض ديوبتي فإن

خط الماء المحسوب من هذه المعادلات لا يكون دقيقاً، وأياً كان فللميول الأفقية نسبياً والبعيدة عن جوانب المجرى، خط المياه المتوقع والمحسوب يكون قريباً بصورة معقولة.

ويمكن استخدام المعادلة رقم (٤,١٠) كتقدير مبدئي للمسافة بين أنابيب الصرف في المناطق الزراعية "أنابيب الصرف الزراعي" حيث يفترض إن الرشح من الحقول المروية بمعدل ثابت. وللحالة التي يتغير فيها الرشح باختلاف موسم الري تستخدم طريقه أكثر تعقيداً (انظر الجزء الذي بعنوان "السريان نحو المصارف والمسافات بين المصارف").

ويمثل الشكل رقم (٤,١) قطاع عرضي رأسي من الطبقة الصخرية المائية، والذي موضح به مصرفين متوازيين تفصلهما مسافة قدرها L، وكما هو موضح يمكن أن يكون السريان $Q_x = f_x$ ويساوي التصرف المار خلال قطاع عرضي من وحدة الطول الموازية للمصرف الواقع على مسافة قدرها x من نقطة المنتصف بين المصرفين، حيث إن f = معدل التسرب. وأيضاً من المعادلة رقم (٤,١٠)، $Q_x = -(K/2)dh^2/dx$. وبالمساواة بين قيمتي Q_x وإجراء التكامل نجد أن $h^2 = -fx^2/K + C$. وعندما تكون $x = 0$، و $h = H_1$، وعندما تكون $x = L/2$، و $h = H_2$، فإن:

$$H_1^2 - H_2^2 = fL^2/4K \quad \text{أو} \quad L = 2\sqrt{\left[\left(H_1^2 - H_2^2\right)K/f\right]} \qquad (٤,١٣)$$



الشكل رقم (٤,١). الرسم التخطيطي لأنابيب الصرف.

مثال رقم (٤,٢): في مساحة مروية، يمكن افتراض أن التسرب منتظماً عند معدل متوسط يساوي ٠,٩٨ م/ سنة. وهناك طبقة غير منفذة على مسافة ٩ م أسفل مستوى الحقل. يفترض وضع مصارف مغطاة على عمق ٢,٣ م أسفل مستوى الحقل، ويتم تصميم نظام الصرف للحفاظ على سطح الماء الأرضي في الحقل على بعد ١,٠٨ م على الأقل أدنى من مستوى سطح الأرض. احسب المسافة التمهيدية بين المصارف، إذا كان معامل التوصيل الهيدروليكي للتربة الموجودة تحت الحقل يساوي ٣,٠٥ م/ يوم.

الحل:

$H_1 = 9.0 - 1.08 = 7.92 \text{ m}$ $\qquad$ $H_2 = 9.0 - 2.3 = 6.7 \text{ m}$

$f = 0.98/365 = 0.00268 \text{ m/day}$

إذن

$$L = 2\sqrt{\left[\left(7.92^2 - 6.7^2\right) \times 3.05/0.002685\right]} = 285 \text{ m}$$

obeikandi.com

السريان غير الدارسي Non-Darcian Flow

لا يصلح قانون دارسي في التطبيق للسريان الذي يكون فيه $R_e >> 10$ حيث إن R_e = رقم رينولد = qd / v ، q = التصرف النوعي أو سرعة دارسي، d = قطر المسام النموذجي (المتوسط أو d_{10})، و v = اللزوجة الكينماتيكية للمياه الجوفية. ويمكن أن يكون هذا في السريان الذي يحدث خلال الأوساط الخشنة المسامية، مثل الحشوة الصخرية والدكة الحجرية والحصى الخشن أو الجلاميد. وتمثل المعادلة التالية السريان خلال الصخور أحادية الحجم (منتظمة الحجم)، والتي لها جاذبية نوعية تقدر بحوالي 2.87 (Leps 1973):

$$V_v = W\ m^{0.5}\ i^{0.54} \qquad (٤,١٤)$$

حيث إن:

V_v = السرعة المتوسطة في الفراغات الموجودة في الأوساط المسامية الخشنة (سم/ ث).

W = الثابت العملي لمادة ما.

m = متوسط نصف القطر الهيدروليكي (سم).

i = الميل الهيدروليكي.

والقيم النموذجية للمعامل ($W\ m^{0.50}$) موضحة في الجدول رقم (٤,٤).

والمعادلة العملية لحساب السرعة خلال الفراغات تعتمد على تجارب السريان خلال الدكة الحجرية والتي تتراوح قيمة d_{10} فيها من ١٥ إلى ٩٧ مم وتكون كالتالي (Abt *et al.*1991):

$$V_v = 0.79\ (g \times d_{10} \times i)^{0.50} \qquad (٤,١٥)$$

حيث إن:

V_v = السرعة خلال الفراغات (م/ ث).

g = ٩,٨١ م/ ث٢.

d_{10} = حجم الحبيبة (م) والتي يكون فيها ١٠٪ من الحصى أكثر نعومة.

الجدول رقم (٤,٤). القيم النموذجية للمعامل $Wm^{0.50}$.

حجم الحبيبات (سم)	$m^{0.50}$ (سم٠.٥)	$Wm^{0.50}$ (سم/ ث)
١,٩٠	٠,٤٨	٢٥,٤٠
٥,٠٨	٠,٧٨	٤٠,٦٤
١٥,٢٤	١,٣٨	٧١,١٢
٢٠,٣٢	١,٥٦	٨١,٢٨
٦٠,٩٦	٢,٨١	١٤٧,٣٢
١٢١,٩٢	٤,٠٤	٢١٣,٣٦

المصدر: (Leps 1973).

مثال رقم (٤,٣): جدول جبلي ميل قاعه ٠,٠٢٥، ويغذي طبقة مسامية سمكها ١م تستند على طبقة الصخر الطبيعي، وأثناء فترات السريان المنخفض يكون عمق الماء المتدفق حوالي ١٠سم فوق الطبقة المسامية. احسب الكمية الكلية للمياه المتدفقة من الجدول أثناء فترة السريان المنخفض إذا كان عرض قاع الجدول المتوسط يساوى ٥م. وإن المسامية المتوسطة للطبقة المسامية تساوي ٠,٣٠، ومتوسط حجم الحجر يساوى ٦٠سم، و d_{10} تساوي ٢٥سم.

obeikandl.com

الحل:

من المعادلة رقم (٤,١٤) والجدول رقم (٤,٤)

$$V_v = 147 \times (0.025)^{0.54} = 20 \text{ cm/s}$$

وبالتبديل أو باستخدام المعادلة رقم (٤,١٥)

$$V_v = 0.79\sqrt{(9.81 \times 0.25 \times 0.025)} = 0.196 \text{ m/s}$$

وهي تعطي تقريباً نفس الناتج من المعادلة (٤,١٤).

وباستخدام اللزوجة الكينماتيكية والتي تساوي $0.13 \times 10^{-5} m^{-2}/s$ للمياه، فإن

$$R_e = Vd/v = 0.20 \times 0.60 \times 10^5 / 0.13 = 9.23 \times 10^4$$

أي أن التدفق خلال قاع الطبقة المسامية يبعد كثيراً عن المدى الذي يصلح معه تطبيق قانون دارسي.

مساحة السريان خلال الطبقة المسامية:

$$5.0 \times 1.0 \times 0.030 = 1.5 \text{ m}^2$$

والتصرف Q خلال قاع الطبقة المسامية:

$$1.5 \times 0.20 = 0.30 \text{ m}^3/\text{s}$$

ويمكن أن يقدر التدفق في القنوات المفتوحة فوق الجلاميد باستخدام معادلة مانتق (معادلة رقم (٣,٣)). معامل مانتق n لقاع الجلمود يساوي ٠,٠٥، وعمق المياه y يساوي ٠,١٠ م ويساوي تقريباً R_h (نصف القطر الهيدروليكي)، ومساحة التدفق تساوي:

$$A = 5.0 \times 0.10 = 0.50 \text{ m}^2$$

والتصرف Q فوق قاع الجلمود:

$$(1/n)\, R_h^{2/3} \left(\sqrt{S}\right) A = (1/0.05)\ (0.10^{2/3})\ \left(\sqrt{0.025}\right)\ (0.50) = 0.34 \text{ m}^3/\text{s}$$

التدفق الكلى:

$0.30 + 0.34 = 0.64\ m^3/s$

السريان المستقر نصف القطري

Steady-State Radial Flow

السريان لبئر منفرد Flow to a Single Well

علو الارتفاع h ، عند مسافة نصف قطرية r ، لبئر يضخ عند معدل ثابت Q ، في طبقة محصورة يعطى بالمعادلة التالية (Bear 1979 ; Todd 1980):

$$h - h_w = \left[Q/(2\pi KB)\right]\ \ln(r/r_w) \qquad (٤,١٦)$$

حيث إن:

h_w = ارتفاع سطح الماء في البئر فوق قاعدة الطبقة المحصورة.

r_w = نصف قطر البئر.

K = معامل التوصيل الهيدروليكي.

B = سمك الطبقة المحصورة الحاملة للمياه.

وبالابتعاد عن البئر، فإن تأثير الضخ يتلاشى تدريجياً، ويحدث هذا عند مسافة تساوي R ، من البئر وتسمى نصف قطر دائرة التأثير. والهبوط عند سطح البئر s_w ، وهو الفرق بين الارتفاع h_0 ، عند مسافة R والارتفاع h_w في البئر.

$$s_w = \left[Q/(2\pi KB)\right]\ \ln\ (R/r_w) \qquad (٤,١٧)$$

وكذلك، فالهبوط عند مسافة r ، من البئر:

$$s_r = h_0 - h = \left[Q/(2\pi KB)\right]\ \ln(R/r) \qquad (٤,١٨)$$

والسعة النوعية s_p ، للبئر تعطى بالمعادلة:

$$s_p = (Q/s_w) = (2\pi KB)/\ln(R/r_w) \qquad (٤,١٩)$$

ويمكن أن يحدد معامل التوصيل الهيدروليكي للطبقة الحاملة للماء إذا كانت الارتفاعات لبئري مراقبة معروفة، على سبيل المثال:

$$K = \left[Q/\{2\pi B(h_2 - h_1)\}\right] \ln(r_2/r_1) \quad (٤,٢٠)$$

حيث h_1 و h_2 هي الارتفاعات في آبار المراقبة الموجودة على مسافة r_1 و r_2 من بئر الإنتاج، على التوالي.

باستخدام فرضيات دوبيوت، فإن التدفق القطري في الطبقة غير المحصورة يعطى بالمعادلة التالية:

$$h^2 - h_w^2 = (Q/\pi K) \ln(r/r_w) \quad (٤,٢١)$$

و

$$h_0 - h_w^2 = (Q/\pi K) \ln(R/r_w) \quad (٤,٢٢)$$

وبوضع $h_0 + h_w$ يساوي $2H$، فإن الهبوط في الطبقة الحاملة للمياه يمكن أن يقرب باستخدام:

$$s_w = \left[Q/(2\pi KH)\right] \ln(R/r_w) \quad (٤,٢٣)$$

وبهذا التقريب، فإن معادلات التدفق المحصور يمكن أن تستخدم للتحليل التمهيدي للتدفق في طبقات الماء الأرضية غير المحصورة أيضاً.

تراكم المياه الجوفية Groundwater Mound

يؤدى التسرب الناشئ عن إعادة ملء حوض النهر، أو سطح خزان المياه، أو مرادم النفايات المفتوحة، إلى تراكم المياه الجوفية. ولتقدير مدى تراكم المياه الجوفية في مثل هذه الحالات، فإنه يمكن تقريب مساحة إعادة الملء عن طريق مساحة دائرية مكافئة يبلغ طول نصف قطرها R . وباستخدام فرضيات دوبيوت، فإن سطح المياه الأرضية الجوفية داخل الركام يمكن أن يتم تقريبه باستخدام اثنين من المنحنيات

المكافئة. يمتد المنحنى الأول من المركز إلى محيط مساحة إعادة الملء. ويمتد المنحنى الثاني من المحيط إلى سطح الماء الأرضي الثابت في المنطقة، والذي بعيد نسبياً عن مساحة إعادة الملء ولا يتأثر بشكل يمكن تقديره بالتراكم (Bouwer *et al.*1999).

ومعادلة المنحنى الأول:

$$H_1^2 - h^2 = i\, r^2/(2K), \quad 0 \le r \le R \qquad (٤,٢٤)$$

حيث إن:

H_1 = ارتفاع المياه الجوفية عند مركز مساحة إعادة الملء فوق القاعدة غير المنفذة.

h = ارتفاع المياه الجوفية عند مسافة نصف قطرية r.

i = معدل إعادة الملء (ل/ زمن).

K = معامل التوصيل الهيدروليكي.

ومعادلة المنحنى الثاني:

$$h^2 - H_2^2 = (i\,R/K)\ \ln(R_n/r), \quad R \le r \le R_n \qquad (٤,٢٥)$$

حيث إن:

h = ارتفاع المياه الجوفية عند مسافة نصف قطرية r، من مركز مساحة إعادة الملء.

H_2 = ارتفاع سطح الماء الأرضي الثابت في المنطقة فوق القاعدة غير المنفذة.

R_n = المسافة النصف قطرية لسطح الماء الأرضي من مركز مساحة إعادة الملء.

والمسافة النصف قطرية R_n، والتي تصل لها المياه الجوفية المتراكمة يمكن تقديرها بالمعادلة:

$$H_1^2 - H_2^2 = (iR^2/2K)\ \left[1 + 2\ln(R_n/R)\right] \qquad (٤,٢٦)$$

مثال رقم (٤,٤): معدل التسرب من بحيرة ساحلية أبعادها ٥٥٠ م × ٤٨٠ م في موقع صناعي يقدر أن يصل إلى ٠,٠٠١٥ م/ يوم. ومتوسط عمق الماء في البحيرة ٣م. يقع قاع البحيرة على بعد ١٨٠ م ومتوسط ارتفاع سطح الماء الأرضي في المنطقة ١٧٩ م. ويمكن وجود مستوى الصخر الطبيعي على بعد ١٦٠ م. ومعامل التوصيل الهيدروليكي للطبقة الحاملة يساوي ٢ م/ يوم. احسب امتداد المياه الجوفية المتراكمة وشكل سطح الماء الأرضي المتغير حول البحيرة.

الحل:

نصف القطر المكافئ للبحيرة:

$$R = \sqrt{\{(500 \times 480)/\pi\}} = 276 \text{ m}$$

الارتفاع الهيدروليكي عند منتصف البحيرة فوق مستوى الصخر الطبيعي:

$$H_1 = 180 + 3 - 160 = 23 \text{ m}$$

الارتفاع الهيدروليكي عند سطح الماء الأرضي الثابت فوق مستوى الصخر الطبيعي:

$$H_2 = 179 - 160 = 19 \text{ m}$$

ومن المعادلة رقم (٤,٢٦) فإن:

$$R_n = R\exp\left[\{(H_1^2 - H_2^2)K/(iR^2)\} - 0.5\right] = 276 \times \text{EXP}\left[\{(23^2 - 19^2) \times 2.0/(0.0015 \times 276^2)\} - 0.5\right] = 3168 \text{ m}$$

ومن المعادلة رقم (٤,٢٤)، فإن شكل التراكم من $r = 0$ إلى $r = R = 276$ m يكون:

$$(23^2 - h^2) = 0.0015 \times r^2/(2 \times 2)$$

إذا

$$h^2 = 529 - 0.000375\, r^2$$

ومن المعادلة رقم (٤,٢٥)، فإن شكل التراكم من $r = R = 276$ m إلى $r = R_n = 3168$ m يكون:

Obeikandl.com

$$h^2 = 361 + (0.0015 \times 276 \times 276/2)\ \ln(3.168/r)$$

إذا

$$h^2 = 361 + 57.132\ \ln(3.168/r)$$

وارتفاع التراكم فوق مستوى الصخر الطبيعي عند محيط البحيرة (أي عند $r = R = 276\ m$)

$$= \sqrt{[529 - (0.000375 \times 276 \times 276)]} = \sqrt{500.43} = 22.37\ m$$

ارتفاع التراكم عند محيط البحيرة:

$$= 160 + 22.37 = 182.37\ m$$

منطقة التأثير Capture Zone

منطقة التأثير هي المنطقة التي تسحب منها المياه الجوفية من خلال آبار الضخ. وإذا لم يكن هناك تدفق بيئي للمياه الجوفية ولا نهر أو حاجز غير منفذ داخل مخروط تأثير البئر، فإن منطقة الاحتجاز يمكن أن تعرف بنصف قطر التأثير. ويوجد عادة تدفق بيئي للمياه الجوفية في طبقات المياه الأرضية في الأماكن التي تركب فيها آبار الاستخراج أو إعادة الملء، ويجب أن تقدر مناطق التأثير لمعدلات محددة من الضخ لمعرفة المنطقة التي يمكن أن يستخرج منها المياه الجوفية والمواد المذابة في المياه الجوفية عن طريق استخدام نظام من الآبار. وبالنسبة لأنظمة للطبقات الحاملة للمياه المتعددة ومعدلات الاستخراج أو الحقن المتغيرة، من خلال آبار متعددة، فإنه يجب استخدام النماذج الرقمية (مثل،USGS 2000b). وبالنسبة للآبار المتعددة في طبقات حاملة للمياه متجانسة المثيل، فيمكن عندئذ استخدام نماذج أبسط نسبياً (e.g., Bair *et al.* 1992). وفي حالة بئر واحد أو أثنين أو ثلاثة أبار تضخ بمعدل ثابت من طبقة حاملة للمياه متجانسة ومتماثلة مع سريان منتظم للمياه الجوفية، فإنه يمكن أن تقدر منطقة التأثير

عن طريق استخدام المعادلات التحليلية (Javandel and Tsang 1986; Prakash 1995). وبالنسبة لبئر منفرد يقع في نقطة الأصل، وله سرعة سريان منتظمة للمياه الجوفية v، في الاتجاه السالب للمحور x فإن:

$$x_s = -Q/(2\pi vB) \quad (٤,٢٧)$$

$$y/x = \pm\tan(2\pi vBy/Q) \quad (٤,٢٨)$$

حيث إن:

x_s = موقع نقطة الركود على المحور x.

Q = تصرف البئر.

B = سمك طبقة الماء الأرضي.

x و y هي إحداثيات الخط الذي يحدد منطقة التأثير.

توضح نقطة الركود الموقع الذي تمتد فيه منطقة التأثير على طول المحور x على طول المنحدر من البئر، وتمثل المعادلة رقم (٤,٢٨) منطقة التأثير. والجانب الأيمن من المعادلة رقم (٤,٢٨) يكون موجب الإشارة ليدل على منطقة التأثير في الاتجاه الموجب من المحور y، ويكون سالب الإشارة ليدل على منطقة التأثير في الاتجاه السالب من المحور y. وبالنسبة لبئرين يقعان على طول المحور x عند (0,b) و(0,−b)، فإن معادلاتهما:

$$x_s = \left[-a \pm \sqrt{\{a^2 - 4v^2b^2\}}\right]/(2v) \quad (٤,٢٩)$$

و

$$2xy/(x^2 - y^2 + b^2) = -\tan(2\pi vBy/Q) \quad (٤,٣٠)$$

حيث إن:

$$a = Q/(\pi B), a \geq 2vb$$

وإذا كانت $a \prec 2vb$ ، فسيكون لكل بئر منطقة تأثير منفصلة. وعلى المحور y، حيث إن $x \to \infty$ ، فإن منحنى شكل منطقة التأثير يقترب إلى الخط المستقيم $y = \pm Q/2vB$.

مثال رقم (٤,٥): بئر إنتاج ذو معدل تصرف ثابت يبلغ ٦,٦٨ ل/ ث مخترقاً سمك ٣٠ م من طبقة حاملة للمياه محصورة حيث إن السرعة الطبيعية لتدفق المياه الجوفية ٠,٢٠ م/ يوم. حدد منطقة التأثير الخاصة بالبئر. وحدد أيضاً منطقة التأثير إذا كان هناك بئرين كل منهما يضخ تصرف ٦,٦٨ ل/ ث، ويبعدان عن بعضهما مسافة ٢٠ م.

الحل:

في حالة البئر المنفرد:

$$x_s = -Q/(2\pi vB) = -(0.000668 \times 86.400)/(2\pi \times 0.20 \times 30) = -15.3 \text{ m}$$

تقدر منطقة التأثير باستخدام المعادلة رقم (٤,٢٨). والإحداثيات المختارة لحدود منطقة التأثير موضحة في الجدول رقم (٤,٥ أ). في حالة بئرين:

$$a = Q/(\pi B) = (0.00668 \times 86.400)/(\pi \times 30) = 6.124 \text{ m}^2/\text{day}$$

و

$$2vb = 2 \times 0.20 \times 10 = 4.0$$

وحيث $a \geq 2vb$ فإن:

$$x_s = \left[-a \pm \sqrt{\{a^2 - 4v^2b^2\}}\right]/(2v) = \left[-6.124 \pm \sqrt{\{6.124^2 - 16.0\}}\right]/(2 \times .020) = -26.90 \text{ or } -3.7\text{m}$$

ومنطقة التأثير لبئرين يجب أن تكون أكبر من منطقة التأثير لبئر منفرد، لذلك نختار:

$$x_s = -26.90 \text{ m}$$

وتقدر منطقة التأثير باستخدام المعادلة رقم (٤,٣٠). والإحداثيات المختارة موضحة في الجدول رقم (٤,٥ ب). وحيث إن هناك قيمتان لكل من x و y ، فإنه يجب اختيار القيمة الصحيحة اعتماداً على الحكم حتى يمكن الحصول على منطقة تأثير منتظمة.

الجدول رقم (٤,٥ أ). إحداثيات منطقة التأثير لبئر منفرد ذو سريان منتظم.

y (م)	x (م)
صفر	- ١٥,٣
١٠	- ١٣,١
١٥	- ١٠,١
٢٠	- ٥,٤
٣٠	١٢,٢
٣٥	٣٠,٣
٤٠	٦٨,٢
٤٥	٢١٧,٣

الجدول رقم (٤,٥ ب). إحداثيات منطقة التأثير لبئرين ذو سريان منتظم.

y (م)	x (م)
صفر	- ٢٦,٩
٥	- ٢٦,٧
١٠	- ٢٦,١
١٥	- ٢٥,١
٢٥	- ٢١,٤
٣٥	- ١٤,٩
٤٥	- ٤,٤
٤٨	- ٠,٠٤
٥٠	٢,٩
٦٠	٢٣,٩
٧٠	٥٩,٩
٨٠	١٣٥,٨

obeikandl.com

البئر المخترق جزئياً Partially Penetrating Well

إذا لم يكن البئر مخترقاً العمق الكامل للطبقة الحاملة للمياه المحصورة، فإن الهبوط s_{wp}، عند سطح البئر بسبب البئر المخترق جزئياً يمكن أن يقدر بالتالي (Bear 1979):

$$s_{wp} = s_w / \left[(L/B) \left\{ 1 + 7\cos(\pi L/2B) \sqrt{(r_w/2L)} \right\} \right] \qquad (٤,٣١)$$

حيث إن:

$s_w = (Q/2\pi KB)\ \ln\ (R/r_w)$.

L = طول مصفاة البئر المخترق للطبقة المحصورة جزئياً.

ولنفس الهبوط s_w، فإن

$$Q_p/Q = (L/B)\left[1 + 7\cos\{\pi L/(2B)\}\sqrt{(r_w/2L)} \right] \qquad (٤,٣٢)$$

حيث إن:

Q_p = تصرف البئر المخترق جزئياً.

Q = تصرف البئر المخترق كلياً.

والمعادلة التقريبية للتصرف من البئر المخترق جزئياً لطبقة حاملة للمياه غير محصورة هي كالتالي (USACE 1971b):

$$Q_p = \left[\pi K \left\{ (H-s)^2 - t^2 \right\} / \ln(R/r_w) \right] \left[1 + \{0.30 + (10 r_w/H)\} \sin(1.8 s/H) \right] \qquad (٤,٣٣)$$

حيث إن:

s = ارتفاع قاع البئر فوق الطبقة غير المنفذة.

H = ارتفاع سطح الماء الأرضي فوق الطبقة غير المنفذة عند $r = R$

t = عمق الماء في البئر، وبذلك تكون $(s+t) \cong h_w$

opeikandi.com

وتوجد معادلة بديلة لتقدير الهبوط في البئر المخترق جزئياً هي (Bear 1979):

$$s_{wp} = \left[Q/(2\pi KB)\right]\left[(1-p)/p\right]\ln\left\{(1.2-p)L(\beta r_w)\right\} + (Q/2\pi KB)\ln(R/r_w)$$
(٤,٣٤)

حيث إن:

$L/B = p$

β = ١ إذا كانت مصفاة البئر تبدأ من قمة أو قاع الطبقة الحاملة المحصورة.

= ٢ إذا كانت مصفاة البئر تقع في وسط الطبقة الحاملة المحصورة.

يصلح تطبيق المعادلة رقم (٤,٣٤) إذا كان $10\,r_w \le L \le 0.8\,B$

نصف قطر التأثير Radius of Influence

بعض المعادلات شبه العملية وبعض المعادلات العملية تستخدم لتقدير نصف قطر التأثير R (م)، وهي موضحة كالتالي (Bear 1979):

$$R = 1.9 \text{ to } 2.45\sqrt{(H\,Kt/S)} \quad (٤,٣٥)$$

$$R = 3000\, s_w \sqrt{K} \quad (٤,٣٦)$$

$$R = 575\, s_w \sqrt{H\,K} \quad (٤,٣٧)$$

حيث إن:

H = السمك المشبع الابتدائي للطبقة الحاملة للمياه غير المحصورة أو سمك الطبقة الحاملة للمياه (م).

K = معامل التوصيل الهيدروليكي (م/ث).

S = الإنتاج النوعي للطبقة الحاملة للمياه غير المحصورة أو التخزينية لطبقة حاملة للمياه محصورة.

t = الزمن (ث).

openkanali.com

s_w = هبوط سطح الماء في البئر (م).

وبشكل عام، فإن R تكون أكبر للتكوينات الأكثر خشونة من أنواع التربة الأكثر نعومة، وتكون أكبر في الطبقات الحاملة للمياه المحصورة منها في غير المحصورة.

تداخل الآبار Well Interference

إن تأثير التداخل البيني بين الآبار المتقاربة وذات تصرفات بمعدل ثابت يمكن أن يتم عن طريق مقارنة التصرف Q، لبئر منفرد مع هبوط قدره s_w، عند سطح البئر، مع تصرف اثنان وثلاثة وأربعة آبار لهم نفس الهبوط عند أسطحهم (Todd 1980) كالتالي:

١- في حالة بئرين تفصلهما مسافة قدرها b :

$$Q_1/Q = \ln(R/r_w)/\left[\ln\{R^2/(r_w b)\}\right] \qquad (٤,٣٨)$$

٢- في حالة ثلاثة آبار تقع على رؤوس مثلث متساوي الأضلاع، طول الضلع، b :

$$Q_1/Q = \ln(R/r_w)/\left[\ln\{R^3/(r_w b^2)\}\right] \qquad (٤,٣٩)$$

٣- في حالة أربعة آبار على رؤوس مربع ضلعه b :

$$Q_1/Q = \ln(R/r_w)/\left[\ln\{R^4/(\sqrt{(2)}r_w b^3)\}\right] \qquad (٤,٤٠)$$

حيث إن:

Q = تصرف كل بئر في مجموعة البئرين والثلاثة والأربعة آبار.

هذه المعادلات تفترض طبقة حاملة للمياه محصورة فيها $R \gg b$. ويمكن أيضا أن تقدم نفس النتائج التقريبية لطبقات حاملة للمياه غير محصورة لها سحب (هبوط) صغير نسبياً.

مثال رقم (٤,٦): أربعة آبار تقع في طبقة حاملة للمياه محصورة في الأربعة أركان من مربع أبعاده ١٥٢,٤ × ١٥٢,٤ م، وهناك بئر خامس في منتصف المربع. فإذا كان يتم الضخ من الآبار للحصول على نفس الهبوط عند أسطح الآبار، احسب النقص في التصرف الناتج عن التداخل. أفترض أن R = ٣٠٤,٨ م و r_w = ٠,٠٧٥ م.

الحل:

إذا كانت الآبار تقع بعيداً عن بعضها لدرجة لا يوجد تداخل بينها، إذا، من المعادلة رقم (٤,١٧) فإن:

$$\text{(i)} \qquad Q = (2\pi KBs_w)/\ln(R/r_w)$$

سوف نرى لاحقاً أنه، إذا كان الهبوط عند أسطح الآبار الخمس متساوياً، فإن $Q_1 \neq Q_c$، حيث Q_1 = التصرف من كل بئر في الأركان و Q_c = التصرف من البئر المركزي. بفرض أن ضلع المربع b.

ومن المعادلة رقم (٤,١٨)، فإن الهبوط عند الآبار الخارجية s_{wl}، يعطى بالمعادلة:

$$s_{wl} = [Q_1/(2\pi KB)]\left[\ln(R/r_w) + 2\ln(R/b) + \ln\left(R/\left\{\sqrt{(2)}b\right\}\right)\right] +$$

$$\text{(ii)} \qquad [Q_c/(2\pi KB)]\left[\ln\left\{R\sqrt{(2)/b}\right\}\right]$$

والهبوط عند البئر المركزي s_{wc}، يعطى بالمعادلة:

$$\text{(iii)} \quad s_{wc} = [Q_1/(2\pi KB)]\left[4\ln\left\{\sqrt{(2)}R/b\right\} + [Q_c/(2\pi KB)]\right][\ln(R/r_w)]$$

وبمساواة (i) و (ii):

$$\text{(iv)} \qquad Q_1\ln\left[b/\left\{4\sqrt{(2)}r_w\right\}\right] = Q_c\ln\left[b/\{(2)r_w\}\right]$$

وكذلك، بالتعويض من (iv) في (iii):

$$s_{wl} = s_{wc} = [Q_1/(2\pi KB)][\ln(4R^4/b^4)]$$

$$\text{(v)} \qquad \ln(R/r_w)\cdot\ln\left(b/\left\{4\sqrt{(2)}r_w\right\}\right)/\ln\left(b/\left\{\sqrt{(2)}r_w\right\}\right)$$

ومن (i) و (v)، عندما $s_w = s_{wc} = s_{wl}$:

$$Q_l/Q = \ln(R/r_w)\cdot\ln\left[b/\left\{\sqrt{(2)}r_w\right\}\right]/\left[\left\{\ln\left(4R^4/b^4\right)\right\}\cdot\ln\left(b/\left\{\sqrt{(2)}r_w\right\}\right)\right]+$$
$$\ln(R/r_w)\cdot\ln\left(b/\left\{\sqrt{(2)}r_w\right\}\right)$$

$$Q_c/Q = \ln(R/r_w)\cdot\ln\left[b/\left\{4\sqrt{(2)}r_w\right\}\right]/\left[\left\{\ln\left(4R^4/b^4\right)\right\}\cdot\ln\left(b/\left\{\sqrt{(2)}r_w\right\}\right)\right.$$
$$\left.\ln(R/r_w).\ln\left(b/\left\{4\sqrt{(2)}r_w\right\}\right)\right]$$

وباستخدام المعطيات:

$$Q_l/Q = \left[\ln(304.8/0.075)\right]\ln\left[152.4/\left\{0.075\sqrt{(2)}\right\}\right]/$$
$$\left[\ln\left\{4\times 304.8^4/152.4^4\right\}\cdot\ln\left\{152.4/0.075\sqrt{(2)}\right\}+\right.$$
$$\left.\ln\{304.8/0.075\}\cdot\ln\left\{152.4/\left(4\times 0.075\sqrt{(2)}\right)\right\}\right]=$$
$$\{8.31\times 7.270\}/\left[(4.159\times 7.270)+(8.31\times 5.884)\right]=0.76$$

$$Q_c/Q = \left[\{8.31\times 5.884\}/\left[(4.159\times 7.270)+(8.31\times 5.884)\right]\right]=0.62$$

إذا يقلل تداخل الآبار التصرف في أبار الأركان بحوالي ٧٦٪ وفي بئر المنتصف بحوالي ٦٢٪ من التصرف الذي سيكون متاحاً إذا كانت الآبار موضوعة بعيداً عن بعضها دون تداخل بينها.

إعادة الملء المستحث Induced Recharge

يمكن تقدير إعادة الملء المستحث من المجرى المائي الدائم القريب إلى بئر الضخ الواقع في طبقة حاملة للمياه محصورة تتدفق فيها المياه الجوفية بانتظام في اتجاه المجرى المائي، من المعادلة التالية (Bear 1979):

$$Q_r/Q = (2/\pi)\left[\tan^{-1}\sqrt{\{(Q/\pi dvB)-1\}}-(\pi dvB/Q)\sqrt{\{(Q/\pi dvB)-1\}}\right]$$
(٤,٤١)

obeikandi.com

حيث إن:

Q = تصرف البئر الكلي.

v = سرعة السريان المنتظم للمياه الجوفية.

Q_r = التصرف المستحث من المجرى المائي.

d = المسافة بين البئر والمجرى المائي.

إذا كانت $\pi dbB \geq Q$ ، فلن يكون هناك مساهمة من المجرى المائي. ويمكن أن تعطي المعادلة رقم (٤,٤١) نتائج تقريبية للطبقات الحاملة للمياه غير المحصورة إذا كان عمق الهبوط صغيراً نسبياً حيث إن متوسط سمك الطبقة المشبعة يمكن أن يستخدم لـ B .

مثال رقم (٤,٧): بئر مخترق كلياً لطبقة حاملة للمياه غير محصورة بسمك ٢٥ م، يقع البئر على بعد ٦٠ م من مجرى مائي، والسرعة الطبيعية لتدفق المياه الجوفية في اتجاه المجرى المائي ٠,١٥ م/ يوم. يتم ضخ البئر بمعدل ٢٦ ل/ ث. احسب نسبة التصرف المستحث من المجرى المائي بالنسبة للتصرف الكلي المستخرج من البئر.

الحل:

$$B = 25\ m \;\; ; \;\; d = 60\ m \;\; ; \;\; v = 0.15\ m/day$$

و

$$Q = 26 \times 86.400/1.000 = 2.246.4 m^3/day$$

إذا

$$Q/\pi\ d\ v\ B = 3.1780$$

و

$$\pi\ d\ v\ B/Q = 0.31466$$

وبتطبيق المعادلة رقم (٤,٤١):

$$Q_r/Q = (2/\pi)\left[\tan^{-1}\sqrt{(3.1780-1)} - 0.31466\sqrt{(3.1780-1)}\right]$$

$$(2/\pi)[0.97527 - 0.46438] = 0.325$$

لاحظ أن $\tan^{-1}(2.1780)$ يجب أن تقاس بالزاوية النصف قطرية.

أي إن ٣٢,٥٪ تقريباً من تصرف البئر مستحثة من المجرى المائي.

إعادة الملء (التغذية) نتيجة تساقط المطر Recharge by Precipitation

في كثير من الحالات الميدانية يكون إعادة الملء للطبقة الحاملة للمياه بسبب تساقط المطر، يجب أن يقدر بدون معطيات كافية تخص الموقع. وغالباً، تفترض قيمة معقولة، ويتم الحصول على قيمة معدلة باستخدام إعادة الملء كمتغير معايرة في نماذج تدفق المياه الجوفية. وهناك تدريب معقول وهو تقدير إعادة الملء باستخدام طرق بديلة متعددة واختيار قيمة مقبولة بالحكم المقارن. وبعض الطرق التقريبية تشمل التالي:

١- يمكن أن تقدر إعادة الملء بالتساقط اعتماداً على المعطيات المتاحة لإعادة الملء السنوي أو الموسمي في المنطقة أو في المناطق المشابهة في الظروف المناخية والجيولوجية المائية.

٢- يمكن أن تستخدم طريقة خدمة الحفاظ على التربة برقم المنحنى لتقدير الجريان السطحي، ويمكن افتراض أن إعادة ملء المياه الجوفية مساوية تقريباً للفرق بين التساقط والجريان السطحي المحسوب (انظر لجزء "نقص التربة" في الفصل الثاني). إن رقم المنحنى المقدر لعاصفة ما يمكن أن يكون أعلى من الخاص بالتساقط السنوي مما يؤدى إلى إعادة ملء المياه الجوفية أقل سنوياً. ومن ناحية أخرى، فإن الفرق بين التساقط والجريان السطحي المحسوب يشمل التسرب زائداً التبخر والفقد

في الصد، مما يؤدى إلى إعادة ملء سنوية أعلى. ويمكن أن يتم عمل حساب للتأثيرات الموجبة والسالبة لهذه العوامل عن طريق الحكم المقارن. والمعادلات التالية هي المستخدمة في هذه الطريقة:

$$S_a = (2.540 / CN) - 25.4 \quad (٢,٦)$$

$$QR = (P - 0.2S_a)^2 / (P - 0.8S_a) \quad (٢,٤٠)$$

حيث إن:

QR = الجريان السطحي (سم).

P = التساقط (سم).

٣- يمكن أن يتم عمل التقديرات التمهيدية لإعادة الملء اعتماداً على النسب العملية (معاملات ماكسي-إيكين) الموضحة في الجدول رقم (٤,٦)، هذه المعاملات تم تحديدها للمناخ القاحل في ولاية نيفادا (أفون ودوربين ١٩٩٤).

الجدول رقم (٤,٦). معاملات ماكسي - إيكين.

التساقط السنوي (سم)	نسبة إعادة الملء إلى التساقط
أكبر من ٥١	٠,٢٥
٣٨ - ٥١	٠,١٥
٣٠,٥ - ٣٨	٠,٠٧
٢٠ - ٣٠,٥	٠,٠٣
أقل من ٢٠	صفر

المصدر: Avon and durbin (1994).

والمعادلة التالية هي معادلة انحسار بديلة لخطوط تقسيم المياه القاحلة (٢٠سم $< P <$ ٥١سم) (Donovan and Katzer 2000):

$$r = 4.15 \times 10^{-6} (P)^{3.75} \quad (٤,٤٢)$$

حيث إن:

r = إعادة الملء السنوي (سم).

P = التساقط السنوي (سم).

لكل P > ٢٠ سم فإن r = صفر، ولكل P < ٥١ سم فإن r = ٠,٢٥ P.

تداخل مياه البحر Seawater Intrusion

تحت ظروف الحالة المستقرة فإن السطح البيني لمياه البحر والمياه العذبة يمكن أن تقرب باستخدام علاقة غايبين - هيرتزبرج (الشكل رقم ٤,٢):

$$h_s = [\rho_f / (\rho_s - \rho_f)]\ h_f \quad (٤,٤٣)$$

حيث إن:

h_s = ارتفاع السطح البيني تحت مستوى سطح مياه البحر.

h_f = ارتفاع سطح الماء الأرضي فوق مستوى سطح مياه البحر.

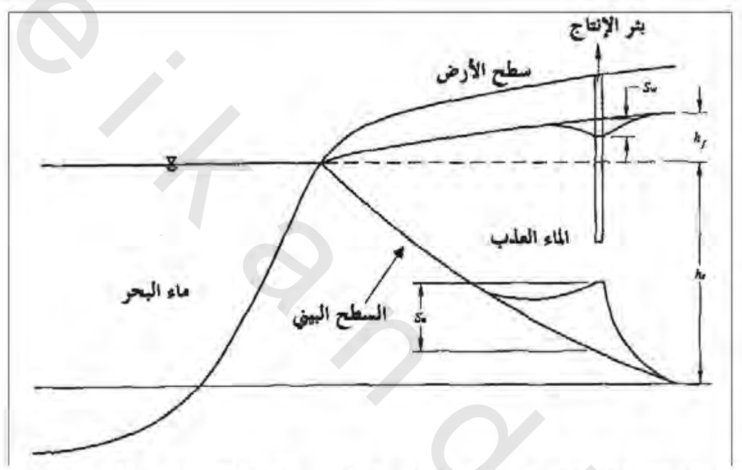
ρ_f, ρ_s = كثافة مياه البحر والمياه العذبة، على التوالي.

فإذا كانت $\rho_s = 1.025 gm/cm^3$ و $\rho_f = 1.0 gm/cm^3$ فيكون $h_s = 40 h_f$. وإذا كان ارتفاع سطح الماء الأرضي عند مسافة معينة من خط الساحل هي ٠,٢٥ م أعلى من مستوى سطح مياه البحر، فإن السطح البيني لمياه البحر عن المياه العذبة عند هذا الموقع يكون أدنى من مستوى سطح مياه البحر بحوالي ١٠ م. وباستخدام المعادلة رقم (٤,٤٣) فإن ارتفاع قمة الشكل المخروطي تحت بئر ضخ أعلى السطح البيني، s_u، يمكن تقريبه إلى:

$$s_u = [\rho_f / (\rho_s - \rho_f)]\ s_w \quad (٤,٤٤)$$

obeikandl.com

يجب العلم بأن مياه البحر قابلة للخلط والامتزاج مع المياه العذبة ويمكن ألا يوجد سطح بيني حاد بينهما. والمعادلتان رقم (٤,٤٣) ورقم (٤,٤٤) تقدمان التقديرات الأولية التي يجب أن يتم اختيارها اعتماداً على تحليلات أكثر تعقيداً ومعلومات حقلية.



الشكل رقم (٤,٢). الرسم التخطيطي للسطح البيني للماء المالح وفوق المنحنى المخروطي.

مثال رقم (٤,٨): في طبقة حاملة للمياه قريبة من الساحل، تم ملاحظة أن تركيزات الماء المالح على مسافة ٣٠٠ م من الساحل وعمق ٣٠ م تحت مستوى سطح البحر، والذي هو أيضاً مستوى الطبقة غير المنفذة في قاع الطبقة الحاملة للمياه. وإن ارتفاعات سطح الماء الأرضي التي تم رصدها موضحة في الجدول رقم (٤,٧ أ). فإذا علمت أن K = ٣٠ م/يوم، و ρ_f = ١,٠ جم/سم٣، و ρ_s = ١,٠٢٥ جم/سم٣. احسب موقع السطح البيني للماء المالح–الماء العذب. ولتقديرات آمنة أهمل سطح التسرب عند تقاطع سطح الماء الأرضي مع الساحل. كذلك احسب معدل تدفق الماء العذب لكل وحدة عرض من الساحل.

الحل:

بتطبيق المعادلة رقم (٤,٤٣) فإن

$$h_s = \left[1.0/(1.025-1.0)\right]\ h_f = 40\ h_f$$

الموقع التقريبي للسطح البيني موضح في الجدول رقم (٤,٧ ب).

الجدول رقم (٤,٧ أ). ارتفاعات منسوب المياه قرب الساحل.

المسافة من خط الساحل (م)	ارتفاع منسوب الماء فوق منسوب مياه البحر (م)
٣٠٠	٠,٧٥
٢٧٥	٠,٧٠
٢٠٠	٠,٦٠
١٥٠	٠,٤٠
١٠٠	٠,٣٠
٥٠	٠,١٥
صفر	صفر

الجدول رقم (٤,٧ ب). موقع السطح البيني للماء المالح - الماء العذب.

x (م)	h_f (م)	h_s (م)
٣٠٠	٠,٧٥	٣٠
٢٧٥	٠,٧٠	٢٨
٢٠٠	٠,٦٠	٢٤
١٥٠	٠,٤٠	١٦
١٠٠	٠,٣٠	١٢
٥٠	٠,١٥	٦
صفر	صفر	صفر

x = المسافة من الساحل.

h_f = ارتفاع سطح الماء الأرضي فوق سطح مياه البحر.

h_s = ارتفاع السطح البيني تحت سطح مياه البحر.

open kandl.com

مثال رقم (٤,٩): بئر نصف قطرها ١٥ سم يقع على مسافة ٢٧٥ م من الساحل المذكور في المثال رقم (٤,٨). ولتجانس انسحاب الماء المالح، فإن أدنى مسافة رأسية مطلوبة بين السطح البيني للماء المالح وسطح الماء الأرضي تساوي ٥ م. احسب تصرف البئر الآمن بفرض أن R تساوي ٢٥٠ م، و K تساوي ٣٠ م/ يوم.

الحل:

من المثال رقم (٤,٨)، فإن المسافة الرأسية بين سطح الماء الأرضي والسطح البيني عند x تساوي ٢٧٥ م، هي

$$28 + 0.70 = 28.70 \text{ m}$$

وحيث إن أدنى سطح ماء أرضي يكون عند سطح البئر، فإن

$$28.70 - s_u - s_w = 5 \text{ m}$$

وأيضاً من المعادلة رقم (٤,٤٤) تكون

$$s_u = \left[1.0/(1.025 - 1.0)\right]\ s_w = 40\ s_w$$

إذن

$$s_w = (28.70 - 5)/41 = 0.578 \text{ m}$$

وبالنسبة لانسحاب الماء العذب، فإن متوسط سمك التشبع يجب أن يساوى

$$H = 3.075/2 = 15.375 \text{ m}$$

وبذلك تكون

$$Q = 2\pi\ K\ H\ s_w / \ln(R/r_w) = 2\pi \times 30 \times 15.375 \times 0.578 / \ln(250/0.075)$$
$$= 207 \text{ m}^3/\text{day} \quad \text{or} \quad 2.4 \ \text{L/s}$$

ويسبب الاختلاف في السمك المشبع والاختراق الجزئي للبئر في طبقة الماء الأرضي للماء العذب، فإن هذا يجب أن يعامل على أنه تقديراً أولياً. وللحصول على تقديرات أكثر دقة يجب إجراء تحليلات أكثر تعقيداً.

تأثير تقلبات الضغط البارومتري Effect of Barometric Pressure Fluctuations

العلاقة التقريبية بين تقلبات الضغط الجوي ومستويات المياه في بئر ما في طبقة حاملة للمياه محصورة تعطى بالمعادلة التالية (Rouse 1950 ; Todd 1980):

$$dh/(dp_a/\gamma) = -1/\left[1+\{(\alpha_s/(\theta\beta))\}\right] \qquad (٤,٤٥)$$

حيث إن:

dh = التغير في مستوى الماء في البئر.

dp_a = التغير في الضغط البارومتري.

α_s = قابلية الانضغاط الرأسية لمادة الطبقة الحاملة للمياه.

θ = مسامية الطبقة الحاملة للمياه.

β = قابلية انضغاط الماء.

الإشارة السالبة في المعادلة رقم (٤,٤٥) توضح أن مستوى الماء في بئر مراقبة يهبط عندما يزداد الضغط البارومتري، والعكس صحيح.

في حالة طبقة حاملة للمياه غير محصورة، فإن قابلية الانضغاط لمادة طبقة الماء الأرضي، والماء، تكون أقل أهمية نسبياً مقارنة بالتغيرات في حجم الماء الناتجة من تقلبات سطح الماء الأرضي. تنتقل التغيرات في الضغط الجوى مباشرةً وفوراً إلى سطح الماء الأرضي ولبئر المراقبة. وبالتالي، هناك القليل، أو لا يوجد تأثيراً يذكر لتقلبات الضغط البارومتري في مستويات الماء في البئر. والتغير في مستوى الماء في البئر هو تقريباً يماثل ما يوجد في حالة الطبقة الحاملة للمياه وغير المحصورة. وقد لوحظ أن التقلبات في الضغط البارومتري ربما تؤدى إلى تقلبات صغيرة في سطح الماء الأرضي في الطبقة الحاملة للمياه وغير المحصورة.

مثال رقم (٤,١٠): احسب التغير في مستوى الماء في بئر مخترق كلياً عندما يتغير الضغط البارومتري بمقدار ٧,٧٢ سم زئبق. بفرض أن α_s تساوي ١١,٨×١٠^{-٦} سم٢/ كجم، φ تساوي ٠,٣٥، و β تساوي ٤٧×١٠^{-٦} سم٢/ كجم.

الحل:

تغير الضاغط البارومتري كعمود من الماء

$$\left(dP_a/\gamma\right) = 0.0772 \times 13.6 = 1.05 \text{ m}$$

وبتطبيق المعادلة رقم (٤,٤٥)

$$dh/\left(dP_a/\gamma\right) = dh/(1.05) = -1/\left[1+\left\{11.8/(0.35\times 47)\right\}\right] = -0.582$$

توضح الإشارة السالبة أن الزيادة في الضغط البارومتري تؤدى إلى خفض مستوى الماء في البئر. وبالتالي فإن

$$dh = -1.05 \times 0.582 = -0.61 \text{ m}$$

الانخساف Subsidence

الإجهاد المسبب بالوزن الكلي للتربة والماء أعلى نقطة في طبقة حاملة للمياه يتوازن مع الإجهاد (الانضغاط) على مادة الطبقة الحاملة للماء الأرضي وضغط المائع (الهيدروستاتيكي) (Delleur 1999):

$$P_T = \sigma + P_w \quad (٤,٤٦)$$

حيث إن:

P_T = الضغط الكلي الناتج بسبب وزن التربة والماء.

P_w = ضغط المائع (الهيدروستاتيكي).

σ = الإجهاد الفعال أو الضاغط على مادة طبقة الماء الأرضي.

يمكن أن يقاس الضغط الهيدروستاتيكي باستخدام البيزومتر. وتسبب الزيادة في الإجهاد الضاغط على مادة طبقة الماء الأرضي نقصاً في حجمه (أو في سمكه في انضغاط أحادي البعد)، والتي يمكن أن تتسبب في الانخساف. ويمكن أن يؤدى استخراج المياه الجوفية المفرط إلى بعض النقص في الضغط الكلي، لكنه يمكن أن يؤدى إلى نقص أكبر نسبياً في الضغط الهيدروستاتيكي في طبقة الماء الأرضي. مما يمكن أن يؤدى إلى زيادة في إجهاد الضاغط على مادة طبقة الماء الأرضي ويتسبب في انخساف الأرض. ويجب السيطرة على ضخ المياه الجوفية لتقليل احتمالية الانخساف. والخطوات الحسابية للتقديرات التمهيدية للانخساف بسبب انخفاض مستويات المياه الجوفية في طبقة الماء الأرضي موضحة في التالي:

١- احسب الحمل الكلى (الضغط) عند موقع مستوى المياه الجوفية المنخفض قبل الضخ بسبب وزن التربة العلوية والماء الموجودة في المسام.

٢- احسب الضغط الهيدروستاتيكي عند هذا المستوى الناتج عن ارتفاع المياه الجوفية فوق هذا المستوى.

٣- احسب الإجهاد الضاغط على مادة الطبقة الحاملة للماء الأرضي عند هذا المستوى بحساب الفرق بين الخطوة (١) والخطوة (٢) قبل الضخ.

٤- بإتباع نفس الإجراءات، احسب الإجهاد الضاغط عند نفس المستوى بعد انخفاض مستوى المياه الجوفية.

٥- أوجد الفرق $\Delta\sigma$، في الإجهاد الأولي والنهائي عند هذا المستوى [(٤)-(٣)].

٦- التغير في الإجهاد الضاغط عند المستوى الأولى لمستوى المياه الجوفية يساوى صفر. وبالتالي فإن متوسط التغير في الإجهاد الضاغط في عمود طبقة الماء الأرضي بين هذين المستويين يساوى $\Delta\sigma/2$.

٧- احسب الانخساف δ، في عمود هذه الطبقة بين مستويات المياه الجوفية الأولية والمنخفضة كالتالي:

$$\delta = \alpha_s(\Delta\sigma/2)\Delta h \quad (٤,٤٧أ)$$

حيث إن:

α_s = قابلية الانضغاط لمادة طبقة الماء الأرضي.

Δh = التغير في مستويات المياه الجوفية.

٨- التغير في الإجهاد الضاغط في مادة طبقة الماء الأرضي أسفل مستوى المياه الجوفية يساوي $\Delta\sigma$.

٩- إذا كان هناك عدة طبقات من التربة تحت مستوى المياه الجوفية المنخفضة، احسب الانخساف في كل منها:

$\delta_1 = \alpha_1(\Delta\sigma)L_1$ و $\delta_2 = \alpha_2(\Delta\sigma)L_2$ وهكذا (٤,٤٧ب)

حيث إن:

δ_1, δ_2 = الانخساف الحادث في الطبقتين ١ و ٢.

α_1, α_2 = قابلية انضغاط الطبقتين ١ و ٢.

L_1, L_2 = سمك الطبقتين ١ و ٢ على الترتيب.

١٠- احسب الانخساف الكلي عند قاع الطبقة ٢ الذي يساوي $\delta + \delta_1 + \delta_2$.

مثال رقم (٤,١١): ضخ مفرط للمياه الجوفية في منطقة ما يتوقع أن يخفض مستوى المياه الجوفية بحوالي ٢٥م. ومستوى الماء الأرضي الأولي أسفل سطح الأرض بمقدار ١٠م. مادة الطبقة الحاملة للماء الأرضي مملوءة بالرمل حتى عمق ٥م تحت سطح الأرض. أسفل الرمل يوجد حوالي ٣٠م طمي طيني كثيف يعلو مستوى الصخر الطبيعي. احسب الانخساف المحتمل في التربة أعلى مستوى الصخر الطبيعي. بفرض أن درجة التشبع في منطقة التربة غير المشبعة فوق مستوى المياه الجوفية تساوي ٠,١٠، ووحدة الوزن من حبيبات الرمل تساوي ٢٦٠٠كجم/ م٣، ووحدة الوزن من الماء تساوي ١٠٠٠كجم/ م٣، ومسامية الرمل تساوي ٠,٣٣، وقابلية انضغاط الرمل تساوي ١٢×١٠^-٨^م٢/ كجم، وقابلية انضغاط الطمي الطيني تساوي ١٠٠×١٠^-٨^م٢/ كجم.

الحل:

بفرض أن مواقع مستوى المياه الجوفية الأولية والمنخفضة يرمز لها بـ B و C، وقاع وحدة الرمل بـ D، وقاع الطمي بـ E.

المسافة الرأسية بين سطح الأرض ونقطة C تساوي

$$25+10=35\,\text{m}$$

بعد الانخفاض المتوقع لمستوى المياه الجوفية، فإن الحمل الكلي فوق النقطة C عند الارتفاع المنخفض لمستوى المياه الجوفية يساوي

$$35\times(1-0.33)\times 2600+35\times(0.33\times 0.10)\times 1000=60970+1155$$
$$=62125\ \text{kg/m}^2$$

والضغط الهيدروستاتيكي عند النقطة C (بعد انخفاض سطح الماء الأرضي إلى هذا المستوى) = صفراً.

فيكون الإجهاد الضاغط في التربة عند هذا الارتفاع (عند النقطة C) يساوي

$$62125-0=62125\ \text{kg/m}^2$$

تحت الظروف الأولية للمياه الجوفية، فإن الحمل الكلي فوق النقطة C يساوي

$$10\times(1-0.33)\times2600+10(0.33\times0.10)\times1000+25\times0.33\times1000$$
$$=17420+330+43550+8250=69550\ \ kg/m^2$$

تحت الظروف الأولية للمياه الجوفية، فإن الضغط الهيدروستاتيكي عند C يساوي

$$25\times1000=25000\ \ kg/m^2$$

تحت الظروف الأولية للمياه الجوفية، فإن الإجهاد الضاغط في التربة عند C يساوي

$$69550-25000=44550\ \ kg/m^2$$

الزيادة في الإجهاد الضاغط عند C الناتج من انخفاض مستوى الماء يساوي

$$62125-44550=17575\ \ kg/m^2$$

التغير في الإجهاد الضاغط في التربة عند مستوى المياه الجوفية الأولي (النقطة B) = 0

التغير في الإجهاد الضاغط عند مستوى المياه الجوفية المنخفض (النقطة C) يساوي

$$17575\ \ kg/m^2$$

متوسط الانخساف فوق عمود التربة عند $\Delta h = 25$ يعطى من:

$$\delta=\alpha_s(\Delta\sigma/2)\ \Delta h=12\times10^{-8}\times(17575/2)\times25=0.026\ m$$

بالنسبة للرمل أسفل مستوى المياه الجوفية المنخفض (من النقطة C إلى D) يكون

$$L_1=15m\ ،\ \ \alpha_1=12\times10^{-8}m^2/kg$$

إذن

$$\delta_1=\alpha_1(\Delta\sigma)L_1=12\times10^{-8}\times17575\times15=0.032\ m$$

بالنسبة للطمي الطيني أسفل الرمل (من النقطة D إلى E) يكون

$$L_2=30m\ \ ،\ \ \alpha_2=100\times10^{-8}m^2/kg$$

إذن

$$\delta_2=\alpha_2(\Delta\sigma)L_2=100\times10^{-8}\times17575\times30=0.527\ m$$

obeikandl.com

الانخساف الكلى فوق مستوى الصخر الطبيعي:

$$0.026 + 0.032 + 0.527 = 0.585 \text{ m}$$

الإنتاجية الآمنة والسعة النوعية والكفاءة

Safe Yield, Specific Capacity, and Efficiency

ليس هناك تعريفاً دقيقاً للإنتاجية الآمنة من الطبقة الحاملة للماء الأرضي أو بئر. وعادة ما تعرف بأنها معدل انسحاب المياه الجوفية التي يمكن الحفاظ عليها بدون وجود إمكانية للانخساف، وتداخل الماء المالح، وإفراغ غير ملائم للسطح الأرضي للمياه الجوفية، والذي لا يمكن تعويضه بإعادة الملء الطبيعي للمياه الجوفية، والتداخل غير الملائم مع إنتاجية البئر الموجودة من المياه الجوفية، وإعادة الملء المستحث غير الملائم من هياكل أسطح المياه القريبة، والطغيان على ملوثات المياه الجوفية الموجودة. حدود السحب عند مواقع محددة يمكن أن تحدد بالموقع، أو الدولة، أو وكالات التنظيم الفيدرالية. وأحياناً، يستخدم مصطلح "الإنتاجية القصوى" لتحديد الإنتاجية الآمنة، التي يمكن الحصول عليها بشكل اقتصادي إذا أخذ في الاعتبار استراتيجيات إدارة موارد المياه الجوفية البديلة والمتعددة.

أما السعة النوعية للبئر فهي الإنتاجية الناتجة لكل وحدة هبوط (Q/s)، حيث s تشمل مقدار الهبوط في الطبقة الحاملة للمياه عند حدود مصفاة البئر والفاقد الناتج عن السريان الاضطرابي للمياه الجوفية خلال مصفاة البئر. أما كفاءة البئر فهي النسبة بين السعة النوعية الفعلية إلى السعة النوعية النظرية، وتعرف أيضاً على أنها النسبة بين فاقد الضاغط في الطبقة الحاملة للمياه إلى فاقد الضاغط الكلي. ويشمل فاقد الضاغط الكلي (أو الهبوط الكلي عند سطح البئر) الهبوط من الطبقة الحاملة للمياه (أي،

النظري) والهبوط بالبئر. ويتغير الهبوط (السحب) من الطبقة الحاملة خطياً مع التصرف ويمكن أن يتم تقديره باستخدام معادلات الحالة المستقرة أو الحالة غير المستقرة للسحب عند سطح البئر (مثل المعادلة رقم (٤,١٧) والمعادلة رقم(٤,٨١)). ويشمل الفاقد في البئر المكونات الخطية والمكونات غير الخطية. وتشمل المكونات الخطية الهبوط في كومة الحصى ومدخل المصفاة، وتشمل المكونات غير الخطية الفاقد الناتج عن السريان المضطرب في البئر. هناك طريقة بسيطة لتقدير كفاءة البئر كما يلي:

- ارسم الهبوط s، على المحور y، على المقياس الطبيعي، وارسم المسافة من البئر r، على المحور x، على المقياس اللوغاريتمي.
- ارسم أفضل خط مستقيم مناسب خلال هذه النقط عن طريق الحكم البصري.
- قم بمد الخط المستقيم حتى $r = r_w$ (نصف قطر البئر) واقرأ قيمة الهبوط النظري s_0، عند هذا الموقع.
- احسب كفاءة البئر = s_0 / s_w حيث s_w هو الهبوط الفعلي المقاس في البئر.

في حالة الطبقات الحاملة للمياه غير المحصورة، فإن تشغيل البئر يمكن أن يسبب نقصاً كبيراً في سمك الطبقة الحاملة للماء الأرضي. ونتيجة لهذا، يلاحظ حدوث هبوطاً زائداً. إذا كان النقص في السمك الطبقة المشبعة أكثر من ٢٠٪، فإن الهبوط s_0، يمكن أن يتم تصحيحه قبل القيام بحساب كفاءة البئر (انظر الجزء في هذا الفصل تحت عنوان "التدفق القطري غير المستقر في بئر مخترق كلياً في طبقة حاملة للمياه غير محصورة"):

$$s_0\,(\text{corrected}) = s_0 - \{\, s_0^2 / (2H) \,\} \qquad (٤,٤٨)$$

حيث إن:

H = السمك المشبع الأولي لطبقة الماء الأرضي.

والهبوط المصحح يجب أن يستخدم في إعداد المنحنى البياني المذكور مسبقاً. وعندما تبلغ كفاءة البئر من ٧٠ إلى ٨٠٪ تعتبر مقبولة والبئر ذو تصميم جيد.

السريان الانتقالي (غير المستقر) للمياه الجوفية
Transient (Unsteady) Groundwater Flow

السريان غير المستقر أحادى البعد Unsteady One-Dimensional Flow

معادلة الاستمرارية لتدفق المياه الجوفية غير المستقر أحادى البعد في طبقة حاملة للمياه ومحصورة سمكها B، ومعامل التوصيل الهيدروليكي لها K، هي:

$$\partial^2 h/\partial x^2 = S/T\ \partial h/\partial t \qquad (٤,٤٩)$$

حيث إن:

S = معامل التخزين اللابعدي أو التخزينية.

T = نقل أو قابلية النقل للطبقة الحاملة للماء.

$S/B = S_s$ = التخزين النوعي، ويعرف على أنه حجم الماء المنطلق من وحدة الحجم من الطبقة الحاملة للمياه لكل وحدة هبوط في السطح الهيدروليكي:

$$S = \rho g\ (\alpha_s + \theta\beta)\ B \qquad (٤,٥٠)$$

$$T = K B \qquad (٤,٥١)$$

القيم النموذجية للتخزين النوعي S_s موضحة في الجدول رقم (٤,٨) (USEPA 1985).

الجدول رقم (٤,٨). القيم النموذجية للتخزين النوعي.

المادة	التخزين النوعي (سم$^{-1}$)
طين لدن	٢,٠ × ١٠$^{-٤}$ – ٢,٥ × ١٠$^{-٥}$
طين صلب	٢,٥ × ١٠$^{-٥}$ – ١,٣ × ١٠$^{-٥}$
طين متوسط الصلابة	١,٣ × ١٠$^{-٥}$ – ٦,٩ × ١٠$^{-٦}$
رمل متفكك	٩,٨ × ١٠$^{-٦}$ – ٥,١ × ١٠$^{-٦}$
رمل كثيف	٢,١ × ١٠$^{-٦}$ – ١,٣ × ١٠$^{-٦}$
حصى كثيف الرمل	٩,٨ × ١٠$^{-٧}$ – ٥,١ × ١٠$^{-٧}$
صخر (متشقق ، مفصلي)	٦,٩ × ١٠$^{-٧}$ – ٣,٢ × ١٠$^{-٨}$
صخر ثابت	أقل من ٣,٢ × ١٠$^{-٨}$

المصدر: USEPA (1985).

معادلة الاستمرارية الخطية للتدفق أحادي البعد في الحالة غير المستقرة في طبقة حاملة للمياه غير محصورة هي:

$$\partial^2 h/\partial x^2 = \left[S_y/(KH)\right] \partial h/\partial t \qquad (٤,٥٢)$$

حيث إن:

S_y = الإنتاجية النوعية.

H = متوسط سمك التشبع.

الإنتاجية النوعية هي الجزء من الماء المحفوظ في مسام التربة والذي يمكن أن يستخرج من الطبقة الحاملة للمياه لكل وحدة مساحة لكل وحدة هبوط في سطح الماء الأرضي. وهي تسمى أيضاً المسامية الفعالة وتكون أقل من المسامية الكلية. القيم النموذجية للإنتاجية النوعية معطاة في الجدول رقم (٤,٩) (USEPA 1985).

الجدول رقم (٩,٤). القيم النموذجية للإنتاجية النوعية.

المادة	المدى (٪)	المتوسط (٪)
طين	١,١ – ١٧,٦	٦
طمي	١,١ – ٣٨,٦	٢٠
رمل ناعم	١,٠ – ٤٥,٩	٣٣
رمل متوسط	١٦,٢ – ٤٦,٢	٣٢
رمل خشن	١٨,٤ – ٤٢,٩	٣٠
حصى ناعم	١٢,٦ – ٣٩,٩	٢٨
حصى متوسط	١٦,٩ – ٤٣,٥	٢٤
حصى خشن	١٣,٢ – ٢٥,٢	٢١
حبيبات دقيقة	١٤,١ – ٢٢,٠	١٨
كثيب رمل	٣٢,٣ – ٤٦,٧	٣٨
خليط (يغلب عليه الطمي)	٠,٥ – ١٣,٠	٦
خليط (يغلب عليه الطين)	١,٩ – ٣١,٢	١٦
خليط (يغلب عليه الحصى)	٥,١ – ٣٤,٢	١٦
جرف جليدي (يغلب عليه الطمي)	٣٣,٢ – ٤٨,١	٤٠
جرف جليدي (يغلب عليه الرمل)	٢٩,٠ – ٤٨,٢	٤١
صخر رملي (ناعم الحصى)	٢,١ – ٣٩,٦	٢١
صخر رملي (متوسط الحصى)	١١,٩ – ٤١,١	٢٧
صخر طمي	٠,٩ – ٣٢,٧	١٢
طفل	٠,٥ – ٥,٠	–
حجر جيري	٠,٢ – ٣٥,٨	١٤
صخر بركاني صفائحي	٢١,٩ – ٣٣,٢	٢٦

المصدر: USEPA (1985).

obeikandi.com

تخزين ضفاف النهر Bank Storage

أثناء فترات الفيضان، تدخل مياه النهر في المادة المسامية من ضفتي النهر. ونتيجة لهذا يرتفع سطح المياه الجوفية الأرضي على كلا الجانبين. وبعد انحسار الفيضان يعود ارتفاع سطح المياه في النهر إلى الحالة الطبيعية في وقت قصير نسبياً. ويتم إطلاق المياه المخزونة في مسام ضفتي النهر ببطء في المجرى المائي تحت سطح الاختلاف بين سطح الماء الأرضي المرتفع ومستوى سطح الماء الطبيعي (المنخفض) في المجرى المائي. وفي بعض الحالات، قد تتكون مادة ضفة النهر من رواسب ملوثة ناتجة عن أنشطة صناعية سابقة، وبالتالي تكون المياه العائدة إلى النهر عن طريق الرشح من ضفة النهر ملوثة. وفي بعض الأحيان، يجب تحديد معدل التدفق العائد وكمية المياه الجوفية الملوثة المحتمل عودتها إلى النهر. والمعادلات التحليلية للتحليل التمهيدي لهذا النوع من الحالات موضحة كالتالي (Carslaw and Jaeger 1984; Glover 1985):

١- $$h = H\,\mathrm{erf}\left[x/\sqrt{(4\alpha t)}\right] \qquad (٤,٥٣)$$

٢- $$q(x,t) = \left\{HKD/\sqrt{(\pi\alpha t)}\right\}\exp\left\{-x^2/(4\alpha t)\right\} \qquad (٤,٥٤)$$

٣- $$q(0,t) = \left\{HKD/\sqrt{(\pi\alpha t)}\right\} \qquad (٤,٥٥)$$

٤- $$Q(t) = 2HKD\sqrt{\left\{t/(\pi\alpha)\right\}} \qquad (٤,٥٦)$$

حيث إن:

H = ارتفاع سطح الماء الأرضي الناتج عن فترة الفيضان، والمقاس فوق مستوى سطح الماء الطبيعي (المنخفض) في النهر.

h = ارتفاع سطح الماء الأرضي فوق ارتفاع سطح الماء الطبيعي (المنخفض) في النهر على مسافة x، وزمن t.

x = المسافة على ضفة النهر من حافة النهر.

t = الـزمن بعـد حـدوث الفيـضان (أي، بعـد عـودة النهـر إلى ارتفـاع المـاء الطبيعي).

α = انتشارية طبقة الماء الأرضي = KD/S_y .

D = السمك المشبع الأولي من مادة النهر (أي، عمق سطح المـاء المرتفـع عـلى ضفة النهر فوق القاعدة غير المنفذة).

$q(x,t)$ = معدل تدفق العودة على مسافة x، وزمن t، لكـل وحـدة طـول مـن ضفة النهر (موازياً لتدفق النهر).

$q(0,t)$ = معدل تدفق العودة عند حافة النهر عند زمن t، لكل وحدة طول من ضفة النهر.

$Q(t)$ = الحجم الكلي للتدفق العائد إلى النهر خلال زمن قدره t ، لكـل وحـدة طول من ضفة النهر.

ويمثـل الرمـز $\text{erf}\left[x/\sqrt{(4\alpha t)}\right]$ معامـل الخطـأ في الكميـة الموجـودة بـين الأقواس. وتكون قيم معاملات الخطأ متاحة في شكل جدول (مثلاً، Abramowitz and Stegun 1972). ويمكن إجراء تقريب منطقي مناسب لاستخدام الحاسب وهو:

$$\text{erf}(x) = 1 - \left(a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 a_4 t^4 + a_5 t^5\right)\ \exp\left(-x^2\right) \qquad (٤,٥٧)$$

حيث إن:

$t = 1/(1 + 0.3275911x)$

$a_1 = 0.254829592$

$a_2 = -0.284496736$

$a_3 = 1.421413741$

$a_4 = -1.453152027$

$a_5 = 1.061405429$

إن المعادلات من رقم (٤,٥٣) إلى رقم (٤,٥٦) تعتمد على افتراض أن مادة ضفة النهر تكون متشابهة ومتجانسة وأن النهر يعود إلى ارتفاع سطح الماء الطبيعي في وقت قصير نسبياً بعد حدوث الفيضان، لذلك فإن سطح الماء الأرضي في مادة ضفة النهر يظل عند مستوى مرتفع.

مثال رقم (٤,١٢): أثناء موسم الفيضان، وجد أن سطح الماء الأرضي على ضفة النهر ارتفع بحوالي ٣ م فوق ارتفاع سطح الماء الطبيعي للنهر. احسب معدل تدفق العودة من أحد الضفتين بعد عودة النهر إلى ارتفاع سطح الماء الطبيعي، مع افتراض أنه حدث في وقت قصير نسبياً. ومادة ضفة النهر على أحد جانبي النهر تحتوي على ٠,٤جم/ كجم من الرصاص الممتص. مع العلم بأن الحجم النوعي للرصاص يساوي ١٠٠٠٠ ل/ كجم. احسب كتلة الرصاص الممكن دخوله إلى النهر عن طريق الرشح من مواد ضفة النهر في فترة٩٠ يوماً. افترض أن الرصاص الممتص يكون في الحالة المذابة ويمكن أن يرشح خلال هذه الفترة. بالنسبة لمادة ضفة النهر، استخدم:

$S_y = 0.15$ ، $KD = 1766 \ m^2/day$

الحل:

$\alpha = KD/S_y = 1766/0.15 = 11773.3 m^2/day$

من المعادلة رقم (٤,٥٥)، معدل تدفق العودة عند حافة النهر لكل وحدة متر من طول ضفة النهر

$q(0,t) = 3 \times 1.766/\sqrt{(\pi \times 11773.3 \times 90)} = 2.9 \ m^2$

ومن المعادلة رقم (٤,٥٦)، الحجم الكلي للتدفق العائد إلى النهر لكل وحدة متر من طول ضفة النهر

$Q(t) = 2 \times 3 \times 1766\sqrt{\{(90/\pi \times 11773.3)\}} = 522.7 \ m^3$

وبافتراض الوصول لحالة الاتزان يكون:

$$S_d = K_d C$$

حيث إن:

S_d = كتلة الرصاص الممتص لكل وحدة كتلة جافة من مادة ضفة النهر ويساوي ٠,٠٠٠٤ كجم/ كجم.

K_d = معامل توزيع الرصاص ويساوي ١٠ م^3/ كجم.

C = تركيز الرصاص في الماء المحتوى في مادة ضفة النهر.

إذن:

$$C = 0.0004/10 = 0.00004\ kg/m^3$$

إذا كتلة الرصاص التي تدخل النهر خلال فترة ٩٠ يوماً تساوي

$$522.7 \times 0.00004 = 0.02\ \ kg/m$$

أي تساوي ٠,٠٢ كجم لكل وحدة متر من طول ضفة النهر.

هذا التقدير يعتبر تمهيدياً لأن الوصول لحالة الاتزان ربما يأخذ وقتاً أطول وترشيح الرصاص يمكن أن يكون بطيئاً.

التدفق في اتجاه المصارف وتباعد المصارف

Flow toward Drains and Drain Spacing

طريقة تقريبية لتباعد المصارف المغطاة في مناطق زراعية تم ذكرها في جزء سابق بعنوان "تدفق دارسي". وإذا كان منسوب المياه المرتفعة الأولي قد انخفض إلى مستوى محدد خلال فترة معينة، فإنه يجب تقدير تباعد دارسي باستخدام معادلة السريان الانتقالي، معادلة رقم (٤,٤٩). المعادلات التحليلية وثيقة الصلة بهذه الحالة مذكورة أدناه (Carslaw and Jeager 1984; Glover 1985):

١- $h(x,t)=(4H/\pi)\sum\{1/(2n+1)\}\left[\exp\ \{-(2n+1)^2\pi^2\alpha t/L^2\}\right]$

$$\sin\{(2n+1)\pi x/L\}\quad,\quad n=0,1,2,......,\infty \qquad (٤,٥٨)$$

٢- $h(x=L/2)=(4H/\pi)\sum\{1/(2n+1)\}\left[\exp\{-(2n+1)^2\pi^2\alpha t/L^2\}\right]$

$$\sin\{(2n+1)\pi/2\}\quad,\quad n=0,1,2,.......,\infty \qquad (٤,٥٩)$$

٣- $q(x=0,t)=(4KDH/L)\sum\left[\exp\{-(2n+1)^2\pi^2\alpha t/L^2\}\right],$

$$n=0\ ,\ 1\ ,\ 2\ ,.....,\infty \qquad (٤,٦٠)$$

٤- $p=(8/\pi^2)\sum\left[\exp\{-(2n+1)^2\pi^2\alpha t/L^2\}\right]/(2n+1)^2,$

$$n=0\ ,\ 1\ ,\ 2\ ,.....,\infty \qquad (٤,٦١)$$

حيث إن:

H = ارتفاع منسوب المياه الابتدائي فوق المصارف.

D = ارتفاع المصارف فوق الطبقة غير المنفذة.

L = تباعد المصارف.

$h(x,t)$ = ارتفاع منسوب المياه عند مسافة، x، وزمن، t، فوق المصارف.

x = المسافة من المصارف.

t = الزمن الذي بدأ عنده تصريف المياه الجوفية من ارتفاع منسوب المياه الابتدائي.

$q(x=0,t)$ = معدل التصرف إلى المصارف من جانب واحد لكل وحدة طول من المصرف.

p = جزء الحجم المنصرف من المياه التي تبقى ليتم تصريفها عند زمن، t.

من المفترض أن تكون $D >> H$ ، وإلا يمكن اعتبار أن تكون D متوسط سمك التشبع لطبقة الماء الأرضي. الانخفاض الأدنى لمنسوب المياه الجوفية سوف يحدث عند

منتصف مصرفين متوازيين، أي عند $x = L/2$. ولذلك يمكن استخدام المعادلة رقم (٤,٥٩) لتقدير تباعد المصارف لانخفاض منسوب المياه الجوفية الأدنى إلى h عندما $x = L/2$ فوق المصارف. السلسلة اللانهائية من المعادلة رقم (٤,٥٨) إلى المعادلة رقم (٤,٦١) للتحولات السريعة المنصفة لكل $(\alpha t/L^2) >> 0.01$. في مثل هذه الحالات، فإن الحد الثاني يكون < ٢٪ من الحد الأول، والحدود المتبقية تكون أيضاً أصغر. وبالتالي فإنه يمكن تقريب هذه المعادلات إلى:

١- $$h(x,t)=(4H/\pi)\left[\exp\{-\pi^2\alpha t/L^2\}\right]\sin\{\pi x/L\} \quad (٤,٦٢)$$

٢- $$h(x=L/2)=(4H/\pi)\left[\exp\{-\pi^2\alpha t/L^2\}\right] \quad (٤,٦٣)$$

٣- $$q(x=0,t)=(4KDH/L)\left[\exp\{-\pi^2\alpha t/L^2\}\right] \quad (٤,٦٤)$$

٤- $$p=(8/\pi^2)\left[\exp\{-\pi^2\alpha t/L^2\}\right] \quad (٤,٦٥)$$

ومن المعادلة رقم (٤,٦٣) لكل $(\alpha t/L^2)>>0.01$، يكون:

$$L=\pi\sqrt{\left[\alpha t/\ln\{4H/(\pi h)\}\right]} \quad (٤,٦٦)$$

وفي حالات أخرى حيث $n=0,1,2,3$ $(\alpha t/L^2)\le 0.01,$ يمكن أن تستخدم فيها المعادلات من رقم (٤,٥٨) إلى المعادلة رقم (٤,٦١). وعادة، فإن الحدود التي تحتوى على $n > 3$ يمكن أن تكون صغيرة جداً لدرجة ألا تؤخذ في الاعتبار.

مثال رقم (٤,١٣): في منطقة يتم ريها، كانت طبقة التربة غير المنفذة أسفل مستوى الحقل بحوالي ١٢م. يتم تثبيت مصارف مغطاة على مسافة حوالي ٣ م أسفل مستوى الحقل. وأثناء موسم الري الأول، ارتفع مستوى الماء الأرضي إلى ٠,٧٥ م أسفل مستوى الحقل. فترة الري التالية للفترة الأولى تساوي ٣٠ يوماً. قبل الري الثاني، كان يتطلب خفض منسوب المياه إلى أسفل بحوالي ١,٥ م تحت مستوى الحقل. احسب المسافة بين المصارف في هذه الحالة. استخدم K = ١,٥ م و S_y = ٠,١٨ .

الحل:

أقصى ارتفاع لمنسوب المياه فوق المصارف

$$H = 3.0 - 0.75 = 2.25 \text{ m}$$

أقصى ارتفاع لمنسوب المياه فوق الطبقة غير المنفذة

$$12 - 0.75 = 11.25 \text{ m}$$

ارتفاع المصارف فوق الطبقة غير المنفذة

$$12 - 3 = 9 \text{ m}$$

و

$$h(x = L/2) = 3 - 1.5 = 1.5 \text{ m}$$

متوسط سمك الطبقة المشبعة

$$D \cong (11.25 + 9)/2 = 10.125 \text{ m}$$

و

$$\alpha = KD/S_y = 3.05 \times 10.125/0.18 = 171.56 \text{ m}^2/\text{day}$$

وبتطبيق المعادلة رقم (٤,٦٦)

$$L = \pi\sqrt{\left[(171.56 \times 30)/\ln\{(4 \times 2.25)/(\pi \times 1.5)\}\right]} = 280.2 \text{ m}$$

ولاختبار مدى صلاحية المعادلة رقم (٤,٦٦)

$$\alpha t/L^2 = 171.56 \times 30/(280.2)^2 = 0.066$$

إذن تطبيق المعادلة رقم (٤,٦٦) يكون صحيحاً.

المعادلة التالية هي معادلة تقريبية لتقدير معدل سريان المياه الجوفية في الحالة المستقرة في اتجاه مصرف دائري مفرد أو نفق (Freeze and Cherry 1979):

$$q_T = 2\pi KH/\ln(2H/r) \qquad (٤,٦٧)$$

o p e i k a n d i . c o m

حيث إن:

q_T = معدل التصرف في المصرف أو النفق لكل وحدة طول.

H = الضاغط فوق محور النفق.

r = نصف قطر المصرف أو النفق.

والمعادلة التالية هي معادلة تقريبية للحالة غير المستقرة (Freeze and Cherry 1979):

$$q_T(t) = \sqrt{\left(CKH^3S_yt\right)} \qquad (٤,٦٨)$$

حيث إن:

$q_T(t)$ = معدل التصرف في المصرف أو النفق لكل وحدة طول عند زمن، t، بعد تلاشي السريان المستقر.

C = ثابت.

يمكن أن تختلف قيم الثابت C من ٤/٣ إلى ٢. والمعادلتان رقم (٤,٦٧) ورقم (٤,٦٨) يمكن أن يكونا مفيدتين للتحليلات التمهيدية. ويجب استخدام النماذج الرقمية لتحليلات أكثر دقة.

وفي بعض المواقع الصناعية يتم عمل أخاديد أو مصارف المياه الجوفية لجمع أو اعتراض المياه الجوفية الملوثة من منطقة موقع العمل، والتي يمكن أن تضخ إلى خارج الموقع خلال البالوعات التي تقع في أماكن مناسبة في الأخدود أو المصرف. ويتم تصميم المضخات والأخاديد لسريان المياه الجوفية المتوقعة أثناء ظروف منسوب المياه الجوفية القصوى التي تتبع حدوث العواصف. ومبدئياً إذا كان مستوى المياه تقريباً أفقياً، فإن المعادلات التالية تستخدم لتقدير مناسيب المياه الجوفية المنخفضة ومعدلات التصرف التي تدخل الأخدود أو المصرف (Carslaw and Jaeger 1984):

obeikandi.com

١- $h(x,t)=h_0+\left[4(H-h_0)/\pi\right]\sum\left\{(-1)^n/(2n+1)\right\}\left[\exp\left\{-(2n+1)^2\right.\right.$

(٤,٦٩) $\left.\left.\pi^2\alpha t/(4L^2)\right\}\right]\cos\left\{(2n+1)\pi x/(2L)\right\}, n=0,1,2,.....\infty$

٢- $q(x=0,t)=\left\{2KD(H-h_0)\right\}/L\sum\left[\exp\left\{-(2n+1)^2\pi^2\alpha t/(4L^2)\right\}\right],$

(٤,٧٠) $n=0\ ,\ 1\ ,\ 2\ ,......\infty$

٣- $Q(t)=\left\{8KDL(H-h_0)\right\}/(\pi^2\alpha)\sum\left[\exp\left\{-(2n+1)^2\pi^2\alpha t/(4L^2)\right\}\right]/$

(٤,٧١) $(2n+1)^2, n=0\ ,\ 1,\ 2\ ,.....\infty$

وكما في حالة المعادلات من رقم (٤,٥٥) إلى رقم (٤,٥٨) لكل $\alpha t/(4L^2)>0.01$، فإن المعادلات التقريبية المبسطة التالية يمكن تطبيقها:

١- $h(x,t)=h_0+\left[4(H-h_0)/\pi\right]\left[\exp\left\{-\pi^2\alpha t/(4L^2)\right\}\right]\cos\left\{\pi x/2L\right\}$

(٤,٧٢)

٢- $q(x=0,t)=\left[\left\{2KD(H-h_0)\right\}/L\right]\left[\exp\left\{-\pi^2\alpha t/(4L^2)\right\}\right]$ (٤,٧٣)

٣- $Q(t)=\left[\left\{8KD(H-h_0)\right\}/L\right]\left[\exp\left\{-\pi^2\alpha t/(4L^2)\right\}\right]$ (٤,٧٤)

حيث إن:

H = الارتفاع الأولي لمنسوب المياه فوق الطبقة غير المنفذة.

D = متوسط سمك الطبقة المشبعة.

L = المسافة من مستوى المياه الجوفية الأولي إلى الأخدود أو المصرف.

$h(x,t)$ = ارتفاع مستوى المياه فوق الطبقة غير المنفذة عند مسافة x وزمن t.

x = المسافة من مستوى المياه الجوفية.

t = الزمن منذ بدء تصريف المياه الجوفية من ارتفاع منسوب المياه الأولي.

h_0 = ارتفاع المصرف فوق الطبقة غير المنفذة.

$q(x=0,t)$ = معدل التصرف إلى الأخدود من جانب واحد لكل وحدة طول من الأخدود.

$Q(t)$ = معدل التصرف الكلى الذي يدخل الأخدود من جانب واحد حتى زمن قدره t.

إذا كان منسوب سطح المياه الأولي يمكن تحديده عن طريق ميل الخط المستقيم، فإن الانخفاض في المياه الجوفية الناتج عن الأخدود يمكن أن يقدر بالمعادلة:

$$h(x,t)=h_0+\left[8(H-h_0)/\pi^2\right]\sum\left\{1/(2n+1)^2\right\}\left[\exp\left\{-(2n+1)^2\pi^2\alpha t/(4L^2)\right\}\right]$$
$$\cos\left\{(2n+1)\,\pi\,x/(2\,L)\right\},\ n=0,\ 1,\ 2,\ldots\infty \qquad (٤,٧٥)$$

أو

$$h(x,t)=h_0+(H-h_0)\{(L-x)/L\}-\left[2(H-h_0)\sqrt{(\alpha t/L)}\right]\sum(-1)^n$$
$$\{\text{ierfc}\ (U_1)-\text{ierfc}\ (U_2)\},\ n=0,\ 1,\ 2,\ldots,\infty \qquad (٤,٧٦)$$

حيث إن:

$$U_1=(2nL+x)/\sqrt{4\alpha t}$$
$$U_2=\{(2n+2)L-x\}/\sqrt{(4\alpha t)}$$

ومستوى منسوب المياه الأولي يعطى بالخط المستقيم:

$$h(x)=H-(H-h_0)x/L$$

$\text{ierfc}(U)$ يساوي تكامل $\text{erfc}(U)$ من $u=0$ إلى $u=\infty$ ويساوي

$$\left(1/\sqrt{\pi}\right)\exp\left(-U^2\right)-U\text{erfc}(U),\text{erfc}(x)=1-\text{erfc}(x)$$

المعادلة رقم (٤,٧٥) تتغير بشكل سريع عندما تكون $0.01 \gg \left\{\alpha t/\left(4L^2\right)\right\}$، والمعادلة رقم (٤,٧٦) تتغير بشكل سريع عندما تكون $0.01 \gg \left\{\alpha t/\left(4L^2\right)\right\}$.

تأثر مستويات المياه الجوفية بالتغيرات في مستوى ماء النهر

Response of Groundwater Levels to River Stage Fluctuations

إذا كانت آبار مراقبة المياه الجوفية محفورة في طبقة حاملة للمياه متماثلة ومتجانسة، ومتصلة هيدروليكياً مع النهر، فإن مستويات المياه في الآبار تتغير تبعاً للتغيرات في مستويات الماء بالنهر. فإذا كان منسوب المياه الجوفية الأولي تقريباً أفقياً عند نفس مستوى ماء النهر الأولي، فإن استجابة مستويات المياه الجوفية في البئر لتقلبات مستويات ماء النهر يمكن أن يتم تقريبها بالمعادلة التالية (Pinder *et al.* 1969; Prakash 1997):

$$h(x,t) = \sum e(m) \operatorname{erfc}\left\{(u)/\sqrt{(n-m+1)}\right\}, m = 1,2,3,....,n \qquad (٤,٧٧)$$

حيث إن:

$$u = \left[x/\left\{2\sqrt{(\alpha\Delta t)}\right\}\right]$$

$h(x,t)$ = ارتفاع مستوى المياه الجوفية عن درجة الحالة المستقرة الأولية في النهر عند مسافة x، وزمن t.

x = المسافة من النهر.

t = الزمن منذ بدء الارتفاع أو الانخفاض في مستوى النهر $= n\Delta t$.

n = عدد الفترات الزمنية المتساوية المختارة لتقسيم الارتفاع أو الانخفاض في مستوى النهر إلى زيادات في العمق أصغر ومختلفة.

Δt = الفاصل الزمني التي تتغير خلالها مستوى النهر بـ $e(1), e(2), e(3)$، ...إلخ.

$e(m)$ = الارتفاع أو الانخفاض في مستوى النهر في الزيادة الزمنية m^{th}.

إن تقسيم الزمن t إلى فترات زمنية عديدة هام إذا كان معدل التغيرات في مستويات النهر ليس منتظماً (أي، تختلف من فترة زمنية Δt إلى أخرى)، ويمكن

استخدام المعادلة رقم (٤,٧٧) لتقدير انتشارية طبقة الماء الأرضي α إذا كان مستوى المياه الجوفية وتقلبات مستوى النهر معلومة من مراقبات الحقل. وإذا كان الارتفاع أو الانخفاض في مستويات النهر تستمر إلى زمن لانهائي t_0 إذن:

$$h(x,t,t_0) = h(x,t) - h(x,t-t_0) \quad (٤,٧٨)$$

حيث إن:

$h(x,t,t_0)$ = التغير في مستوى المياه الجوفية عند مسافة x وزمن t الناتج عن الارتفاع أو الانخفاض في مستوى النهر الذي يحدث أثناء الفترة الزمنية t_0.

وفي حالة ارتفاع مستويات النهر بشكل منتظم وبمنسوب ماء أفقي تقريباً عند بداية تقلبات مستوى النهر، فإن التغيرات في مستويات المياه الجوفية يمكن أن تقرب بالمعادلة التالية (Carslaw and Jaeger 1984):

$$h(x,t) = ct\left[\left\{(1+2U^2)\operatorname{erfc}(U)\right\} - \left\{(2/\sqrt{\pi})U\exp(-U^2)\right\}\right] \quad (٤,٧٩)$$

حيث إن:

c = الارتفاع أو الانخفاض في مستويات النهر لكل وحدة زمنية.

$$U = x/\sqrt{(4\alpha t)}$$

مثال رقم (٤,١٤): احسب مستويات المياه الجوفية في بئر مراقبة يقع على مسافة ٤٥ م من النهر عندما ترتفع المياه بالنهر بمعدل ٠,٠٥ م/ الساعة خلال ٤٨ ساعة وتستمر في البقاء عند هذا المستوى لوقت طويل بما فيه الكفاية. استخدم α تساوي ١٨ م٢/ ساعة.

الحل:

$$U = x/\sqrt{(4\alpha t)} = 5.303/\sqrt{t}$$

وبإجراء الحسابات باستخدام المعادلات رقم (٤,٧٩) ورقم (٤,٧٨) كما هو موضح في الجدول رقم (٤,١٠).

يتم إجراء الحسابات في المعادلة رقم (٤,٧٨) عن طريق تأخر $h(x,t)$ بمقدار t_0 (العمود رقم ٤)، ونجد العمود رقم (٥) بطرح العمود رقم (٤) من العمود رقم (٣).

الجدول رقم (٤,١٠). حسابات تقلبات مستوى المياه.

(١) الزمن t (ساعة)	(٢) $5.303/\sqrt{t}$	(٣) h (x, t) (م)	(٤) h (x, t) وجدت عن طريق $t_0 = 48$ hr	(٥) $h(x, t, t_0)$ (م)
٢٤	١,٠٨٣	٠,٠٥١	٠	٠,٠٥١
٤٨	٠,٧٦٥	٠,٣٠١	٠	٠,٣٠١
٧٢	٠,٦٢٥	٠,٦٩٨	٠,٠٥١	٠,٦٤٧
٩٦	٠,٥٤١	١,١٩٣	٠,٣٠١	٠,٨٩٢
١٢٠	٠,٤٨٤	١,٧٥٧	٠,٦٩٨	١,٠٥٩
١٤٤	٠,٤٤٢	٢,٣٧٣	١,١٩٣	١,١٨٠
١٦٨	٠,٤٠٩	٣,٠٣٠	١,٧٥٧	١,٢٧٣
١٩٢	٠,٣٨٣	٣,٧٢٢	٢,٣٧٣	١,٣٤٩
٢١٦	٠,٣٦١	٤,٤٤١	٣,٠٣٠	١,٤١١
٢٤٠	٠,٣٤٢	٥,١٨٤	٣,٧٢٢	١,٤٦٢

opeikandi.com

السريان نصف القطري غير المستقر لبئر مخترق كلياً طبقة محصورة

Unsteady Radial Flow to a Well Fully Penetrating a Confined Aquifer

المعادلة التفاضلية التي تحكم السريان نصف القطري غير المستقر لبئر مخترق كلياً طبقة حاملة للمياه محصورة متماثلة ومتجانسة لمدى لانهائي:

(٤,٨٠) $$\partial^2 h/\partial r^2 + 1/r \partial h/\partial r = (S/T)\partial h/\partial t$$

الشروط الحدية للمعادلة رقم (٤,٨٠) موضحة في التالي:

١- $Limit r = r_w \to 0, (r\partial h/\partial r) = (Q/2\pi T)$ ، $0 < t$ (يوضح تصرف البئر الثابت).

٢- $h(r,0) = H, r_w \le r \le \infty$ (يوضح عدم وجود هبوط في البئر قبل الضخ).

٣- $h(\infty,t) = H, t \ge 0$ (يوضح عدم وجود هبوط عند ما لانهاية).

تبعاً لهذه الشروط الحدية، فإن حل المعادلة رقم (٤,٨٠) يكون:

(٤,٨١) $$H - h(r,t) = s(r,t) = -(Q/4\pi T)\ Ei\ (-u) = (Q/4\pi T)\ W(u)$$

حيث إن:

H = الضاغط الهيدروليكي الأولي في طبقة الماء الأرضي.

$h(r,t)$ = الضاغط عند مسافة r، من البئر وزمن t.

$s(r,t)$ = الهبوط عند مسافة r، من البئر وزمن t.

$u = Sr^2/(4Tt)$.

$-Ei(-u)$ = التكامل الأسي.

$W(u)$ = دالة البئر.

وتعرف المعادلة رقم (٤,٨١) بمعادلة ثايس (Bear 1979). ودالة البئر تعطى بالسلسلة اللانهائية:

(٤,٨٢) $$W(u) = -0.5772 - \ln(u) + u - u^2/(2.12) + u^3/(3.13) - u^4/(4.14) + \ldots$$

ولعمل الحسابات على الحاسب الآلي تكون هناك تقريبات متعددة الحدود ومنطقية متاحة لتقدير $W(u)$ بدقة تبلغ ٢×١٠^{-٧} لقيم u التي تتراوح من صفر إلى ما لانهاية (Abramowitz and Stegan 1965). ودوال البئر للقيم المختارة من u مبينة في الجدول رقم (٤,١١) (Bear 1979; Freeze and Cherry 1979; Wenzel). امتداد الجدول من $W(u)/2$ لقيم مختلفة من $\sqrt{u}$ تعطى بواسطة (Glover 1985).

الجدول رقم (٤,١١). دالة البئر W(u) لطبقة حاملة للمياه محصورة.

n	$u = n$	$u = n \times 10^{-1}$	$u = n \times 10^{-2}$	$u = n \times 10^{-3}$	$u = n \times 10^{-4}$
١,٠	٠,٢١٩٤	١,٨٢٢٩	٤,٠٣٧٩	٦,٣٣١٥	٨,٦٣٣٢
١,٥	٠,١٠٠٠	١,٤٦٤٥	٣,٦٣٧٤	٥,٩٢٦٦	٨,٢٢٧٨
٢,٠	٠,٠٤٨٩٠	١,٢٢٢٧	٣,٣٥٤٧	٥,٦٣٩٤	٧,٩٤٠٢
٢,٥	٠,٠٢٤٩١	١,٠٤٤٣	٣,١٣٦٥	٥,٤١٦٧	٧,٧١٧٢
٣,٠	٠,٠١٣٠٥	٠,٩٠٥٧	٢,٩٥٩١	٥,٢٣٤٩	٧,٥٣٤٨
٣,٥	٠,٠٠٦٩٧	٠,٧٩٤٢	٢,٨٠٩٩	٥,٠٨١٣	٧,٣٨٠٧
٤,٠	$٣,٧٧٩ \times ١٠^{-٣}$	٠,٧٠٢٤	٢,٦٨١٣	٤,٩٤٨٢	٧,٢٤٧٢
٤,٥	$٢,٠٧٣ \times ١٠^{-٣}$	٠,٦٢٥٣	٢,٥٦٨٤	٤,٨٣١٠	٧,١٢٩٥
٥,٠	$١,١٤٨ \times ١٠^{-٣}$	٠,٥٥٩٨	٢,٤٦٧٩	٤,٧٢٦١	٧,٠٢٤٢
٥,٥	$٦,٤٠٩ \times ١٠^{-٤}$	٠,٥٠٣٤	٢,٣٧٧٥	٤,٦٣١٣	٦,٩٢٨٩
٦,٠	$٣,٦٠١ \times ١٠^{-٤}$	٠,٤٥٤٤	٢,٢٩٥٣	٤,٥٤٤٨	٦,٨٤٢٠
٦,٥	$٢,٠٣٤ \times ١٠^{-٤}$	٠,٤١١٥	٢,٢٢٠١	٤,٤٦٥٢	٦,٧٦٢٠
٧,٠	$١,١٥٥ \times ١٠^{-٤}$	٠,٣٧٣٨	٢,١٥٠٨	٤,٣٩١٦	٦,٦٨٧٩
٧,٥	$٦,٥٨٠ \times ١٠^{-٥}$	٠,٣٤٠٣	٢,٠٨٦٧	٤,٣٢٣١	٦,٦١٩٠
٨,٠	$٣,٧٦٠ \times ١٠^{-٥}$	٠,٣١٠٦	٢,٠٢٦٩	٤,٢٥٩١	٦,٥٥٤٥
٨,٥	$٢,١٦٠ \times ١٠^{-٥}$	٠,٢٨٤٠	١,٩٧١١	٤,١٩٩٠	٦,٤٩٣٩
٩,٠	$١,٢٤٠ \times ١٠^{-٥}$	٠,٢٦٠٢	١,٩١٨٧	٤,١٤٢٣	٦,٤٣٦٨
٩,٥	$٠,٧١٠ \times ١٠^{-٥}$	٠,٢٣٨٧	١,٨٦٩٥	٤,٠٨٨٧	٦,٣٨٢٨

تابع الجدول رقم (٤,١١).

$u = n \times 10^{-10}$	$u = n \times 10^{-9}$	$u = n \times 10^{-8}$	$u = n \times 10^{-7}$	$u = n \times 10^{-6}$	$u = n \times 10^{-5}$	n
٢٢,٤٤٨٦	٢٠,١٤٦٠	١٧,٨٤٣٥	١٥,٥٤٠٩	١٣,٢٣٨٣	١٠,٩٣٥٧	١,٠
٢٢,٠٤٣٢	١٩,٧٤٠٦	١٧,٤٣٨٠	١٥,١٣٥٤	١٢,٨٣٨٢	١٠,٥٣٠٣	١,٥
٢١,٧٥٥٥	١٩,٤٥٢٩	١٧,١٥٠٣	١٤,٨٤٧٧	١٢,٥٤٥١	١٠,٢٤٢٦	٢,٠
٢١,٥٣٢٣	١٩,٢٢٩٨	١٦,٩٢٧٢	١٤,٦٢٤٦	١٢,٣٢٢٠	١٠,٠١٩٤	٢,٥
٢١,٣٥٠٠	١٩,٠٤٧٤	١٦,٧٤٤٩	١٤,٤٤٢٣	١٢,١٣٩٧	٩,٨٣٧١	٣,٠
٢١,١٩٥٩	١٨,٨٩٣٣	١٦,٥٩٠٧	١٤,٢٨٨١	١١,٩٨٥٥	٩,٦٨٣٠	٣,٥
٢١,٠٦٢٣	١٨,٧٥٩٨	١٦,٤٥٧٢	١٤,١٥٤٦	١١,٨٥٢٠	٩,٥٤٩٥	٤,٠
٢٠,٩٤٤٦	١٨,٦٤٢٠	١٦,٣٣٩٢	١٤,٠٣٦٨	١١,٧٣٤٢	٩,٤٣١٧	٤,٥
٢٠,٨٣٩٢	١٨,٥٣٦٦	١٦,٢٣٤٠	١٣,٩٣١٤	١١,٦٢٨٠	٩,٣٢٦٣	٥,٠
٢٠,٧٤٣٩	١٨,٤٤١٣	١٦,١٣٨٧	١٣,٨٣٦١	١١,٥٣٣٠	٩,٢٣١٠	٥,٥
٢٠,٦٥٦٩	١٨,٣٥٤٣	١٦,٠٥١٧	١٣,٧٤٩١	١١,٤٤٦٥	٩,١٤٤٠	٦,٠
٢٠,٥٧٦٨	١٨,٢٧٤٢	١٥,٩٧١٧	١٣,٦٦٩١	١١,٣٦٦٥	٩,٠٦٤٠	٦,٥
٢٠,٥٠٢٧	١٨,٢٠٠١	١٥,٨٩٧٦	١٣,٥٩٥٠	١١,٢٩٢٤	٨,٩٨٩٩	٧,٠
٢٠,٤٣٣٧	١٨,١٣١١	١٥,٨٢٨٠	١٣,٥٢٦٠	١١,٢٢٣٤	٨,٩٢٠٩	٧,٥
٢٠,٣٦٩٢	١٨,٠٦٦٦	١٥,٧٦٤٠	١٣,٤٦١٤	١١,١٥٨٩	٨,٨٥٦٣	٨,٠
٢٠,٣٠٨٦	١٨,٠٠٦٠	١٥,٧٠٣٤	١٣,٤٠٠٨	١١,٠٩٨٢	٨,٧٩٥٧	٨,٥
٢٠,٢٥١٤	١٧,٩٤٨٨	١٥,٦٤٦٢	١٣,٣٤٣٧	١١,٠٤١١	٨,٧٣٨٦	٩,٠
٢٠,١٩٧٣	١٧,٨٩٤٨	١٥,٥٩٢٢	١٣,٢٨٩٦	١٠,٩٨٧٠	٨,٦٨٤٥	٩,٥

تابع الجدول رقم (٤,١١).

n	$u = n \times 10^{-11}$	$u = n \times 10^{-12}$	$u = n \times 10^{-13}$	$u = n \times 10^{-14}$	$u = n \times 10^{-15}$
١,٠	٢٤,٧٥١٢	٢٧,٠٥٣٨	٢٩,٣٥٦٤	٣١,٦٥٩٠	٣٣,٩٦١٦
١,٥	٢٤,٣٤٥٨	٢٦,٦٤٨٣	٢٨,٩٥٠٩	٣١,٢٥٣٥	٣٣,٥٥٦١
٢,٠	٢٤,٠٥٨١	٢٦,٣٦٠٧	٢٨,٦٦٣٢	٣٠,٩٦٥٨	٣٣,٢٦٨٤
٢,٥	٢٣,٨٣٤٩	٢٦,١٣٧٥	٢٨,٤٤٠١	٣٠,٧٤٢٧	٣٣,٠٤٥٣
٣,٠	٢٣,٦٥٢٦	٢٥,٩٥٥٢	٢٨,٢٥٧٨	٣٠,٥٦٠٤	٣٢,٨٦٢٩
٣,٥	٢٣,٤٩٨٥	٢٥,٨٠١٠	٢٨,١٠٣٦	٣٠,٤٠٦٢	٣٢,٧٠٨٨
٤,٠	٢٣,٣٦٤٩	٢٥,٦٦٧٥	٢٧,٩٧٠١	٣٠,٢٧٢٧	٣٢,٥٧٥٣
٤,٥	٢٣,٢٤٧١	٢٥,٥٤٩٧	٢٧,٨٥٢٣	٣٠,١٥٤٩	٣٢,٤٥٧٥
٥,٠	٢٣,١٤١٨	٢٥,٤٤٤٤	٢٧,٧٤٧٠	٣٠,٠٤٩٥	٣٢,٣٥٢١
٥,٥	٢٣,٠٤٦٥	٢٥,٣٤٩١	٢٧,٦٥١٦	٢٩,٩٥٤٢	٣٢,٢٥٦٨
٦,٠	٢٢,٩٥٩٥	٢٥,٢٦٢٠	٢٧,٥٦٤٦	٢٩,٨٦٧٢	٣٢,١٦٩٨
٦,٥	٢٢,٨٧٩٤	٢٥,١٨٢٠	٢٧,٤٨٤٦	٢٩,٧٨٧٢	٣٢,٠٨٩٨
٧,٠	٢٢,٨٠٥٣	٢٥,١٠٧٩	٢٧,٤١٠٥	٢٩,٧١٣١	٣٢,٠١٥٦
٧,٥	٢٢,٧٣٦٣	٢٥,٠٣٨٩	٢٧,٣٤١٥	٢٩,٦٤٤١	٣١,٩٤٦٧
٨,٠	٢٢,٦٧١٨	٢٤,٩٧٤٤	٢٧,٢٧٦٩	٢٩,٥٧٩٥	٣١,٨٨٢١
٨,٥	٢٢,٦١١٣	٢٤,٩١٣٧	٢٧,٢١٦٣	٢٩,٥١٨٩	٣١,٨٢١٥
٩,٠	٢٢,٥٥٤٠	٢٤,٨٥٦٦	٢٧,١٥٩٢	٢٩,٤٦١٨	٣١,٧٦٤٣
٩,٥	٢٢,٤٩٩٩	٢٤,٨٠٢٥	٢٧,١٠٥١	٢٩,٤٠٧٧	٣١,٧١٠٣

المصدر: Bear (1979) ; Freeze and Cherry (1979) ; Wenzel (1942).

وفي حالة u أكبر من ٠,٠١، فإنه يمكن تقدير $W(u)$ عن طريق الحدين الأولين من المعادلة رقم (٤,٨٢) والمعادلة رقم (٤,٨١) يمكن أن تقرب بالمعادلة:

$$s(r,t) = \{Q/(4\pi T)\} \ln\{2.25Tt/(Sr^2)\} \qquad (٤,٨٣)$$

obeikandl.com

وإذا كان الهبوط عند قيمة معروفة لـ r عند زمنين t_1 ، t_2 :

$$s_1 - s_2 = \{Q/(4\pi Tt)\}\ln(t_1/t_2) = \{2.3Q/(4\pi T)\}\log(t_1/t_2) \qquad (٤,٨٤)$$

ويمكن استخدام المعادلة رقم (٤,٨٣) في تقدير الهبوط لكل u أصغر من ٠,٠١ بخطأ حوالي ٥٪ أو أقل (Delleur 1999). لاحظ أن r تؤول إلى R عندما $s(r,t)$ تؤول إلى الصفر. وبوضع $s(r,t)=0$ في المعادلة رقم (٤,٨٣)، نلاحظ أن نصف قطر التأثير R يزداد مع مدة الضخ ويعطى بالمعادلة التالية (انظر الجزء في هذا الفصل بعنوان "نصف قطر التأثير"):

$$R = 1.5\sqrt{(Tt/S)} \qquad (٤,٨٥)$$

وإذا كانت مدة ضخ البئر t_0 ثم توقف الضخ، فإن الهبوط الناتج يعطى بالمعادلة:

$$s\ (r,t,t_0) = \{Q/(4\,\pi\,T)\}\ \ln\ \{t/(t-t_0)\} \qquad (٤,٨٦)$$

حيث إن:

$s(r,t,t_0)$ = الهبوط عند مسافة r، من البئر وزمن t، بسبب الضخ لمدة t_0، بمعدل ثابت Q.

إذا كان هناك حد ضاغط ثابت (مثلاً، نهر دائم) يقع على مسافة b من سطح البئر على طول المحور x والبئر يقع في المركز، إذن، فباستخدام بئر شكلي (أي، بئر إعادة ملء) يقع على مسافة b من النهر على الجانب الآخر:

$$s\ (x,y,t) = \{Q/(2\,\pi\,T)\}\ln\ (r/r') \qquad (٤,٨٧)$$

حيث إن:

$s(x,y,t)$ = الهبوط عند النقطة (x,y) عند زمن t.

$r = \sqrt{(x^2 + y^2)}$.

$r' = \sqrt{(2b-x)^2 + y^2}$.

وبالمثل، إذا كان حداً غير منفذ أو حد عدم تدفق (حد فاصل للمياه الجوفية) يقع على بعد مسافة b من سطح البئر على طول المحور x، إذن يستخدم بئر الضخ كبئر شكلي:

$$s(x,y,t)=\{Q/(2\pi T)\}\ln\ \{2.25\,T\,t/(S\,r\,r')\} \qquad (٤,٨٨)$$

أيضاً، لعدد من الآبار تضخ من نفس طبقة الماء الأرضي:

$$s(x,y,t)=(Q_1/4\pi T)W(u_1)+(Q_2/4\pi T)W(u_2)+...+(Q_n/4\pi T)W(u_n) \qquad (٤,٨٩)$$

حيث إن:

$Q_1, Q_2, ..., Q_n$ = معدلات الضخ من البئر رقم ١، ٢،.....، n .

$u_i = S r_i^2/(4 T t_i)$.

r_i = مسافة البئر i من النقطة (x,y) .

t_i = الزمن منذ بدء الضخ في البئر i ، عند زمن t .

$s(x,y,t)$ = الهبوط عند النقطة (x,y)، وزمن t .

لاحظ أن $t_i = t - t_{ia}$ ، حيث إن t_{ia} = الزمن عند بدء الضخ في البئر i .

ويمكن أن تستخدم المعادلة رقم (٤,٨٩) في تقدير النقص في إنتاجية البئر لنفس الهبوط بسبب تداخل الآبار القريبة.

مثال رقم (٤,١٥): بئر يضخ من طبقة حاملة للمياه محصورة متماثلة ومتجانسة. فإذا كان الهبوط المسموح به عند سطح البئر بعد ١٨٠ يوماً من الضخ لا يتجاوز قيمة محددة. احسب النقص في إنتاجية البئر بسبب التداخل إذا كان هناك أربعة آبار بنفس التصرف محفورة في الطبقة الحاملة للمياه. ومسافات الآبار الإضافية من البئر الأصلي موضحة في الجدول رقم (٤,١٢).

الحل:

بالنسبة للبئر رقم ١ فإن

$$s = \{Q_1/(4\pi T)\} W(u_1)$$

حيث إن:

s = الهبوط المسموح به عند سطح البئر.

Q = معدل الضخ بدون تداخل أي بئر.

$u_1 = Sr_w^2/(4Tt)$.

الجدول رقم (٤,١٢). مسافات الآبار الإضافية من البئر الأصلي.

رقم البئر	المسافة من البئر رقم ١ (م)
٢	$r_2 = 914.36$
٣	$r_3 = 1219.14$
٤	$r_4 = 1523.93$
٥	$r_5 = 3047.85$

وعند تركيب البئر رقم ٢ فإن

$$s = \{Q_2/(4\pi T)\}[W(u_1) + W(u_2)]$$

حيث إن:

Q_2 = معدل الضخ عندما يكون البئران يعملان معاً ولذلك يكون الهبوط عند سطح البئر رقم ١ هو نفسه (أي يساوي s) و $u_2 = Sr_2^2/(4Tt)$، إذن:

$$Q_2/Q_1 = 1/[1 + \{W(u_2)/W(u_1)\}]$$

وفي حالة خمسة آبار:

$$Q_5/Q_1 = 1/[1 + \{W(u_2)/W(u_1)\} + ... + \{W(u_5)/W(u_1)\}]$$

opeikandi.com

$u_1 = 0.00066 \times (0.0762)^2 / (4 \times 1207.6 \times 180) = 4.4 \times 10^{-12}$

$W(u_1) = 25.5706$

$u_2 = 0.00066 \times (914.6)^2 / (4 \times 1207.6 \times 180) = 0.000635$

$W(u_2) = 6.7859$

$u_3 = 0.00066 \times (1219.14)^2 / (4 \times 1207.6 \times 180) = 0.0011282$

$W(u_3) = 6.2110$

$u_4 = 0.00066 \times (1523.93)^2 / (4 \times 1207.6 \times 180) = 0.001763$

$W(u_4) = 5.7654$

$u_5 = 0.00066 \times (3047.85)^2 / (4 \times 1207.6 \times 180) = 0.007051$

$W(u_5) = 4.3844$

وبالتالي تكون

$Q_2 / Q_1 = 1/[1 + 6.7859/25.57606]$

$Q_3 / Q_1 = 1/\left[1 + \{(6.7859 + 6.2110)/25.5706\}\right] = 0.663$

وبالمثل تكون

$Q_4 / Q_1 = 0.577$

$Q_5 / Q_1 = 0.525$

وحيث إن قيم u_1 ، u_2 ، u_3 ، u_4 ، u_5 تكون أقل من ٠,٠١ ، فإن تطبيق المعادلة (٤,٨٣) يكون صحيحاً أيضاً. وبالتالي فإن:

$$s(r,t) = \{Q_1/(4\pi T)\} \ln\{2.25Tt/(Sr_w^2)\} = \{Q_2/(2\pi T)\} \ln\{2.25Tt/(Sr_w r_2)\}$$

و

$$Q_2 / Q_1 = \ln\{2.25Tt/(Sr_w^2)\} / \left[2 \cdot \ln\{2.25Tt/(Sr_w r_2)\}\right] = \ln\ [2.25 \times 1207.6 \times 180 / \{0.00066 \times (0.0762)^2\}\ ] / (2 \times \ln\ [2.25 \times 1207.6 \times 180 / \{0.00066 \times 0.0762 \times 914.36\}]) = 25.5723 / \{2 \times 16.1797\} = 0.79$$

ويمكن تقدير قيم Q_3 / Q_1 ، Q_4 / Q_1 ، و Q_5 / Q_1 بنفس الطريقة.

السريان نصف القطري غير المستقر لبئر مخترق كلياً طبقة غير محصورة

Unsteady Radial Flow to a Well Fully Penetrating an Unconfined Aquifer

المعادلة التفاضلية التي تحكم السريان القطري غير المستقر لبئر مخترق كلياً لطبقة حاملة للمياه غير محصورة متماثلة ومتجانسة لمدى لانهائي هي:

$$1/r\partial/\partial r\left(rh\partial h/\partial r\right)=\left(S_y/K\right)\partial h/\partial t \qquad (٤,٩٠)$$

حيث إن:

S_y = الإنتاجية النوعية من الطبقة الحاملة للمياه.

وهناك طرق عديدة لحل وجعل المعادلة رقم (٤,٩٠) معادلة خطية:

١- بفرض أن h (الموجودة في القوس على الجانب الأيسر) $\cong H_0$ = متوسط سمك الطبقة المشبعة، و $T_0 = KH_0$ = متوسط قابلية النقل للطبقة المشبعة، وبهذا تصبح المعادلة رقم (٤,٩٠):

$$1/r\partial/\partial r\left(r\partial h/\partial r\right)=\left(S_y/T_0\right)\partial h/\partial t \qquad (٤,٩١)$$

وكما اتبع في المعادلة رقم (٤,٨٠)، يصبح حل المعادلة رقم (٤,٩١):

$$s(r,t)=\left(Q/4\pi T_0\right)W(u) \qquad (٤,٩٢)$$

حيث إن:

$$u=S_y r^2/(4T_0 t)$$

٢- بوضع $s'=s-\left(s^2/2H\right)$ حيث، H = سمك الطبقة المشبعة الابتدائي (انظر المعادلة رقم ٤,٤٨)، فتصبح المعادلة رقم (٤,٩٠):

$$1/r\partial/\partial r\left(r\partial s'/\partial r\right)=\left(S'_y/T\right)\partial s'/\partial t \qquad (٤,٩٣)$$

حيث إن:

$S'_y=S_y\left[H/[H-s]\right]$ ، و $T=KH$.

وكما في حالة المعادلة رقم (٤,٨٠)، يصبح حل المعادلة رقم (٤,٩٣):

$$s'(r,t) = (Q/4\pi T)W(u') \quad (٤,٩٤)$$

حيث إن $u' = S'_y r^2/(4Tt)$. يعد هذا التطبيق مقبولاً طالما أن $s \ll H$. وحيث إن قيمة s غير معروفة مسبقاً، يكون من المطلوب عمل تقديراً مبدئياً لقيمة S'_y، والذي يمكن تعديله بعد حساب قيمة s. ويمكن أن تؤخذ القيمة المبدئية لـ S'_y على أنها أكبر من القيمة المعروفة للإنتاجية النوعية S_y، بالنسبة للطبقة الحاملة للمياه ويمكن حينئذ تعديل الحسابات مع القيمة المعدلة لـ S'_y.

تقدير معاملات الطبقة الحاملة للمياه Estimation of Aquifer Parameters

يتم تقدير معاملات الطبقة الحاملة للمياه (مثل T و S) باستخدام معلومات الهبوط الزمني من اختبارات الضخ من الآبار في الطبقة الحاملة للمياه. تعتبر المعادلة رقم (٤,٨٣) مفيدة في تحليل معلومات اختبار الضخ لتحديد T و S للطبقات المحصورة، والمتسربة المحصورة، وغير المحصورة. هذا لوجود علاقة خطية (خط مستقيم) بين s (المقياس الطبيعي) على المحور y و t (المقياس اللوغاريتمي) على المحور x. ويكون ميل الخط المستقيم على المحور x يساوي $2.3Q/4\pi T$. وبمعرفة Q يمكن حساب T. وعادة فإن تحليل الانحسار الخطي باستخدام قيم مقاسة متنوعة من s و t، وبحساب T و S يمكن تحقيقه من خلال برامج الحاسب مثل AQTESOLV (Duffield and Rumbaugh, 1989). ويمكن أن تقوم برامج الحاسب هذه بمعالجة عدد كبير من قيم البيانات باستخدام المعادلة رقم (٤,٨٣) أو المعادلات المعدلة لطبقات الماء الأرضية غير المحصورة وطبقات الماء الأرضية المتسربة المحصورة واستخدام البيانات من الآبار المخترقة جزئياً. وهناك أيضاً طرق أخرى لتحليل معلومات اختبار الضخ لأنواع مختلفة من طبقات الماء الأرضي مشتملة في برامج الحاسب مثل

AQTESOLV. وهي تشمل طريقة ثايس (باستخدام دالة البئر W(u))، وطريقة كوبر جاكوب (باستخدام المعادلة رقم ٤,٨٣)، وطريقة هانتش لطبقات الماء الأرضي المتسربة المحصورة (Bear 1979).

إذا كانت الإنتاجية القصوى المتوقعة للبئر لا يمكن تقديرها من إنتاجية الآبار الأخرى في الجوار القريب أو من معلومات هيدروليجية أخرى، فإنه ينصح في بعض الأحيان بإجراء اختبار خطوة الهبوط لتقدير معدل الضخ الأقصى. يمكن أن يكون هذا الاختبار مفيداً كذلك لتقييم أداء الآبار حيث يكون السريان المتوقع مضطرباً (Driscoll 1989).

ويمكن أن يشمل اختبار خطوة الهبوط من خمس إلى ثماني خطوات ضخ، تدوم كل منها من ساعة إلى ساعتين. ويزداد معدل الضخ بسلوك تدريجي أثناء الفترات المتعاقبة من الزمن. وفي كل فترة زمنية، يتم ضخ البئر بمعدل ثابت حتى يستقر مستوى المياه. ثم يزداد معدل الضخ إلى المستوى التالي الأعلى. ويجب الحفاظ على معدل ضخ ثابت خلال أي من فترات الضخ، لكن يجب أن يختلف المعدل من فترة إلى أخرى. ويمكن أن تكون مدة الاختبار الكلية من خمس إلى ست ساعات. وحيث إن كل من السريان الطبقي والمضطرب يمكن أن يحدث أثناء الضخ، فإن الهبوط يمكن أن يعبر عنه كالتالي (Driscoll 1989; Bear 1979):

$$s = BQ + CQ^2 \qquad (٤,٩٥)$$

حيث B و C ثوابت البعد. ومع خمس إلى ثماني مجموعات لقيم s و Q التي يتم الحصول عليها من اختبار خطوة الهبوط، فإنه يمكن استخدام الانحسار متعدد الحدود للحصول على قيم B و C . ويمكن استخدام طريقة تقريبية أكثر بساطة لتقدير قيم B و C باستخدام الانحسار الخطي أو الخط المستقيم البياني المناسب بين قيم

s/Q و Q للحصول على قيم B و C. قيم B و C هذه وأقصى قيمة مسموح بها لـ s الخاصة بطبقة الماء الأرضي يمكن إذن استخدامها لتقدير القيمة القصوى لـ Q.

وإذا تم إجراء اختبار خطوة الهبوط، فإن اختبار معدل الضخ الثابت يبدأ بعد أن يعود مستوى المياه إلى المستوى الثابت السابق للضخ. ويجب إجراء اختبار معدل الضخ الثابت مع التصرف الثابت الذي يساوى على الأقل ١٠٪ (لكنه يمكن أن يصل إلى ١٠٠٪) من الإنتاجية القصوى المتوقعة من البئر.

ويمكن أن تكون مدة اختبار معدل الضخ الثابت حوالي ٢٤ ساعة لطبقة حاملة للمياه ومحصورة و٧٢ ساعة لطبقة حاملة للمياه وغير محصورة. ويجب أن تجمع بيانات زمن الهبوط أثناء كل من فترات الضخ وفترات الاستعادة. عادة، تستخدم مسجلات البيانات لتسجيل تلك البيانات. وينصح أن بتسجيل الضغط البارومتري، ومعدل سقوط المطر، ومستويات المياه في مجموعات أسطح المياه داخل المخروط المتوقع من الانخفاض في اختبار البئر أثناء فترة الاختبار. ويمكن ملاحظة أن الضغط البارومتري الذي يزداد بمقدار ١ سم زئبق يمكن أن يؤدى إلى الهبوط بحوالي ٨ سم في مستوى المياه في بئر الملاحظة بطبقة الماء الأرضي (انظر الجزء الموجود بهذا الفصل بعنوان "تأثير تقلبات الضغط البارومتري").

ويجب تصوير الاختبار على الأقل خلال ثلث سمك الطبقة الحاملة للمياه ما عدا في حالة الطبقات صغيرة السمك حيث إن حوالي ٧٥٪ من السمك الكلي يمكن تصويره. ويجب أن يكون قطر بئر الاختبار كافياً لتركيب معدات الضخ. وفي الغالب تتراوح أقطار البئر من ١٠ إلى ٣٠ سم ويمكن أن تكون بقطر ٦٠ سم للآبار الأكبر. ويمكن عمل التقدير التمهيدي لقطر البئر الذي يغطى عند تصرف محدد باستخدام سرعة أقل من ١,٥ م/ ث خلال التغطية. وبالتالي فإن تصرف البئر الذي يساوى

١٠٠ ل/ ث يمكن أن يتطلب بئر بقطر حوالي ٣٠ سم. ويمكن أن يلزم تعديل هذا الحجم لتركيب معدات الضخ. ويمكن عمل التقدير التمهيدي للمساحة المفتوحة من مصفاة البئر باستخدام سرعة حوالي ٠,٠٣ م/ ث خلال مصفاة البئر. وبالتالي فإن المساحة المفتوحة من المصفاة المطلوبة لبئر تصرفه حوالي ١٠٠ ل/ ث تبلغ ٣,٥ م٢. ويمكن حساب طول المصفاة المطلوبة إذا كانت المساحة المفتوحة لكل وحدة طول من المصفاة لأحجام مختلفة، معلومة من المصنع.

وبسبب عملية الضخ، يوجد اضطراب في بئر الاختبار ونتيجة لذلك، فإن بيانات زمن الهبوط لبئر الاختبار يمكن ألا تكون دقيقة. وبالتالي، يجب استخدام بئر مراقبة واحد على الأقل لتسجيل بيانات زمن الهبوط بالإضافة إلى بئر الاختبار. ويمكن أن يكون قطر بئر المراقبة صغيراً كما يمكن عمله للسماح بالقياس الدقيق لمستويات المياه ولتقييم استجابة الطبقة الحاملة للمياه، وتتراوح الأقطار النموذجية لآبار المراقبة بين ٨ إلى ١٢ سم. ويمكن أن يكون عمق مصفاة بئر المراقبة حوالي ١ إلى ٢ م ويجب أن يتطابق مع الجزء من عمق المصفاة في بئر الاختبار. واعتماداً على الطرق المتاحة وقابلية النقل للطبقة الحاملة للمياه، يمكن أن يكون موقع بئر المراقبة على بعد حوالي ٥٠ إلى ٢٠٠ م من بئر الاختبار في الطبقات المحصورة، وحوالي ٣٠ إلى ١٠٠ م في الطبقات غير المحصورة حيث إن مخروط الانخفاض يؤدى إلى معدل أبطأ نسبياً. وبشكل عام، فإنه يجب استخدام مسافات أصغر لطبقات الماء الأرضي السابقة.

ويجب تسجيل بيانات زمن الهبوط أثناء كل من فترات الضخ وفترات الاستعادة. وتبدأ فترة الاستعادة فوراً بعد توقف الضخ. إذا كانت تحليلات بيانات اختبار الضخ تعتمد على المعادلة رقم (٤,٨٣)، فإنه ينصح بتسجيل بيانات زمن الهبوط حتى يكون هناك عدد من الملاحظات في دورة زمنية بالسجل (أي ١ إلى ١٠

دقيقة، ١١ إلى ١٠٠ دقيقة، ١٠١ إلى ١٠٠٠ دقيقة، ... إلخ، بعد بدء الضخ أو الاستعادة). والفترات الزمنية النموذجية لتسجيل الهبوط أثناء اختبار معدل الضخ الثابت موضحة في الجدول رقم (٤,١٣) (Driscoll 1989; Delleur 1999). ويمكن استخدام نفس الفترات الزمنية لتسجيل ارتفاع مستوى المياه أثناء فترة الاستعادة.

الجدول (٤,١٣). الفترات الزمنية لبيانات سجل زمن الهبوط.

بئر الضخ		بئر الملاحظة	
الوقت منذ بدء الاختبار (دقيقة)	الفترة الزمنية بين القياسات (دقيقة)	الوقت منذ بدء الاختبار (دقيقة)	الفترة الزمنية بين القياسات (دقيقة)
٠ — ٣	٠,٥	٠ — ١٠	١
٤ — ١٥	١	١١ — ١٢٠	٥
١٦ — ٦٠	٥	١٢١ — ٢٤٠	١٠
٦١ — ٣٦٠	٣٠	٢٤١ — ٣٦٠	٣٠
٣٦١ — ١٤٤٠	٦٠	٣٦١ — ١٤٤٠	٦٠
أكبر من ١٤٤٠	٤٨٠	أكبر من ١٤٤٠	٤٨٠

المصدر: Driscoll (1989) ; Delleur (1999).

في بعض الحالات، وبالتحديد للآبار كبيرة القطر، فإن بيانات زمن الهبوط يمكن ألا توافق الخط المستقيم على تمثيل s مقابل $\log t$ لأن هذه البيانات يمكن أن تعكس انتقال المياه من غلاف البئر. أيضاً، يمكن ألا توافق بيانات زمن الهبوط (أقل من حوالي ٥ دقائق أو نحوه) لبئر المراقبة الخط المستقيم، لأن u يمكن أن تكون أكبر من ٠,١٠ ولهذا لا يمكن تطبيق المعادلة رقم (٤,٨٣). وبالتالي يمكن إهمال هذه

البيانات. بإمكان هذا أن يحصر البيانات ضمن أول ١٠ دقائق أو نحوه. ويمكن أن تتأثر بيانات زمن الهبوط لمرات أكثر تأخراً أو عن طريق الطبقات غير المنفذة التي تقع أبعد ولكن ضمن مخروط الانخفاض عن البئر. وفي حالة إعادة الملء يوجد حد فاصل يدل على أن تمثيل s مقابل log t يصبح مفلطحاً بعد نقطة معينة. وبالعكس، يتم توضيح الحد غير المنفذ إذا ازداد انحدار التمثيل البياني بعد زمن معين. وفي مثل هذه الحالات، فإنه يجب استخدام بيانات الفترات المبكرة لتقدير معاملات طبقة الماء الأرضي.

ويتضمن تصميم برنامج اختبار ضخ الخطوات التالية:

١- اختيار الموقع وتركيب معدات الاستخراج (الاختبار) والمراقبة لأجل الضخ، ومستويات المياه، وتسجيل البيانات.

٢- مراقبة مستويات المياه الجوفية المحيطة داخل مخروط الانخفاض المتوقع لبئر الاختبار، وتحديد حدود طبقة الماء الأرضي (مثلاً، الأنهار، البحيرات، مناطق إعادة الملء، سريان المياه الجوفية المنتظم، أقسام المياه الجوفية أو الطبقات غير المنفذة)، وأبار الاستخراج أو الحقن بمعدلات تصرفها أو إعادة ملأها.

٣- تركيب مقياس الضغط البارومتر ومقياس المطر في الجوار القريب.

٤- إجراء اختبار ضخ، يشمل خطوة الهبوط (إذا لزم الأمر) واختبارات المعدل الثابت.

٥- تحليل البيانات باستخدام الطريقة الملائمة لطبقة الماء الأرضي (أي، محصورة، غير محصورة، شبه محصورة).

٦- عمل تقرير بالتحضيرات.

مثال رقم (٤,١٦): يراد تثبيت بئر إنتاج في طبقة حاملة للمياه. يبلغ التصرف المتوقع من البئر ١٠٠ ل/ ث. توضح معلومات الصنع إن مساحة الفتحات بالمصفاة ٢٨٦٠سم²/ م لمصافي قطرها ٢٠ و ٣٠ سم. احسب الأقطار التمهيدية لأنابيب التغليف ومصفاة البئر. ارتفاع منسوب المياه الجوفي الأولي ٢٠ م فوق الطبقة الصماء، والهبوط عند سطح البئر لا يتجاوز ٢ م. استخدم K يساوي ٠,٠٠٣ م/ ث ونصف قطر تأثير ١٣٠ م.

الحل:

السرعة المطلوبة خلال أنابيب التغليف ١,٥ م/ ث، وحيث التصرف Q يساوي ٠,١ م³/ ث. لذلك فإن قطر أنابيب التغليف

$$\sqrt{\left[(0.1/1.5)(4/\pi)\right]} = 0.291 \text{ m}$$

بالتالي يستخدم قطر ٣٠ سم لأنابيب التغليف.

إذا كان طول المصفاة هو L والسرعة القصوى خلال فتحات المصفاة تساوي ٠,٠٣ م/ ث، إذن:

$$L \times 0.2860 \times 0.03 = 0.1$$

وبالتالي

$$L = 11.67 \text{ m}$$

نستخدم طول المصفاة يساوي ١٢ م.

وبفرض أن

$$r_w = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$$

ومن المعادلة رقم (٤,٢٢):

$$Q = 0.1 = \pi K\left(H^2 - h_w^2\right)/\ln(R/r_w) = \pi \times 0.003\left(20^2 - h_w^2\right)/\ln(130/0.1)$$

ومن هذه المعادلة ينتج أن

$$h_w = 18\ m$$

والهبزط عند سطح البئر يساوي ٢ م، وهذا مقبول.

إذا نستخدم قطر ٢٠ سم وطول ١٢ م للمصفاة. واعتماداً على الطبقات التي تصادف أثناء الحفر، فإنه يكن تعديل هذه الأبعاد.

مثال رقم (٤,١٧): بيانات زمن الهبوط في بئر مراقبة يقع على بعد ٦٠ م من بئر إنتاج مخترق كلياً لطبقة حاملة للمياه محصورة ويضخ بمعدل ٥٠ ل/ ث موضحة في الأعمدة (١)، (٣)، (٤)، (٦)، (٧)، (٩) بالجدول رقم (٤,١٤). احسب قابلية النقل ومعامل التخزين للطبقة الحاملة للمياه.

الحل:

يمكن تحليل البيانات الناتجة من اختبار الضخ هذا باستخدام نماذج الحاسب مثل AQTESOLV (Duffield and Rumbaugh 1989). وموضح هنا منهج بديل يعتمد على المعادلة رقم (٤,٨٣) باستخدام ورقة عمل. ويمكن أن يكون هذا مفيداً للتحليلات التمهيدية عندما تكون المعادلة رقم (٤,٨٣) قابلة للتطبيق ولا يكون الحصول على النموذج متاح في الحال.

وتحسب لوغاريتمات الزمن t، في الأعمدة (٢)، (٥)، (٨). يتم عمل الانحسار الخطى مع $\log(t)$ كمتغير مستقل والهبوط s كمتغير غير مستقل (تابع). وإن معادلة الانحسار التي تستخدم كل نقاط البيانات الـ ٣٦ (بإهمال $t = 0$) هي

$$s = 0.201 + 0.431747 \log(t)$$

بمعامل تعيين (r^2) يساوي ٠,٩٩٩٤

وبحساب قيم s عند t تساوي ١٠ دقائق و ١٠٠ دقيقة تصبح:

$$s_1(t = 10\,\text{min}) = 0.201 + 0.431747\log(10) = 0.632747\ \text{m}$$

$$s_2(t = 100\,\text{min}) = 0.201 + 0.431747\log(100) = 1.0645\ \text{m}$$

$$s_1 - s_2 = 0.431747\log(10/100) = -0.431747\ \text{m}$$

الجدول رقم (٤,١٤). بيانات زمن الهبوط لبئر المراقبة $(r = 60\ \text{m})$.

(١) T (دقيقة)	(٢) log (t)	(٣) s (م)	(٤) t (دقيقة)	(٥) log (t)	(٦) s (م)	(٧) t (دقيقة)	(٨) log (t)	(٩) s (م)
٠	–	٠	١١	١,٠٤١	٠,٦٤٤	٦٠	١,٧٧٨	٠,٩٦٦
١	٠	٠,٢٢١	١٢	١,٠٧٩	٠,٦٦٠	٩٠	١,٩٥٤	١,٠٣٣
١,٥	٠,١٧٦	٠,٢٩٢	١٣	١,١١٤	٠,٦٨١	١٢٠	٢,٠٧٩	١,٠١٠
٢	٠,٣٠١	٠,٣٣٢	١٤	١,١٤٦	٠,٦٩٧	١٥٠	٢,١٧٦	١,١٤٧
٢,٥	٠,٣٩٨	٠,٣٧٢	١٥	١,١٧٦	٠,٧٣١	٢١٠	٢,٣٢٢	١,٢١٠
٣	٠,٤٧٧	٠,٤٠٦	٢٠	١,٣٠١	٠,٧٦٤	٢٤٠	٢,٣٨٠	١,٢٣٠
٤	٠,٦٠٢	٠,٤٥٦	٢٥	١,٣٩٨	٠,٨٠١	٢٧٠	٢,٤٣١	١,٢٥١
٥	٠,٦٩٩	٠,٤٩٩	٣٠	١,٤٧٧	٠,٨٣٥	٣٠٠	٢,٤٧٧	١,٢٧١
٦	٠,٧٧٨	٠,٥٣٣	٣٥	١,٥٤٤	٠,٨٦٢	٣٦٠	٢,٥٥٦	١,٣٠٤
٧	٠,٨٤٥	٠,٥٦٠	٤٠	١,٦٠٢	٠,٨٨٨	٤٢٠	٢,٦٢٣	١,٣٣٨
٨	٠,٩٠٣	٠,٥٨٧	٤٥	١,٦٥٣	٠,٩١٢	٤٨٠	٢,٦٨١	١,٣٧٥
٩	٠,٩٥٤	٠,٦٠٧	٥٠	١,٦٩٩	٠,٩٣٢			
١٠	١	٠,٦٢٤	٥٥	١,٧٤٠	٠,٩٤٩			

ومن المعادلة رقم (٤,٨٤):

$$s_1 - s_2 = \{2.3Q/(4\pi T)\}\log(t_1/t_2) = \{2.3Q/(4\pi T)\}[\log(10)/\log(100)]$$
$$= -\{2.3Q/(4\pi T)\} = -0.431747\ \text{m}$$

openkandil.com

وحيث إن

$$Q = 0.050\ m^3/s = 4320\ m^3/day$$

فتكون

$$T = 2.3 \times 4320/(4\pi \times 0.431747) = 1831\ m^2/day = 1.27\ m^2/min$$

ومن المعادلة رقم (٤,٨٣):

$$s_2 = 1.0645 = \{2.3Q/(4\ \pi\ T)\}\log\ (2.25T\ t/(S\ r^2)) = 0.431747$$

$$\log[2.25 \times 1.27 \times 100/(S \times 60 \times 60)] = 0.431747 \log(0.079486/S)$$

إذا

$$\log(0.079486/S) = 1.0645/0.431747 = 2.46556$$

إذا

$$S = 0.0794846/(10^{2.46556}) = 0.000272$$

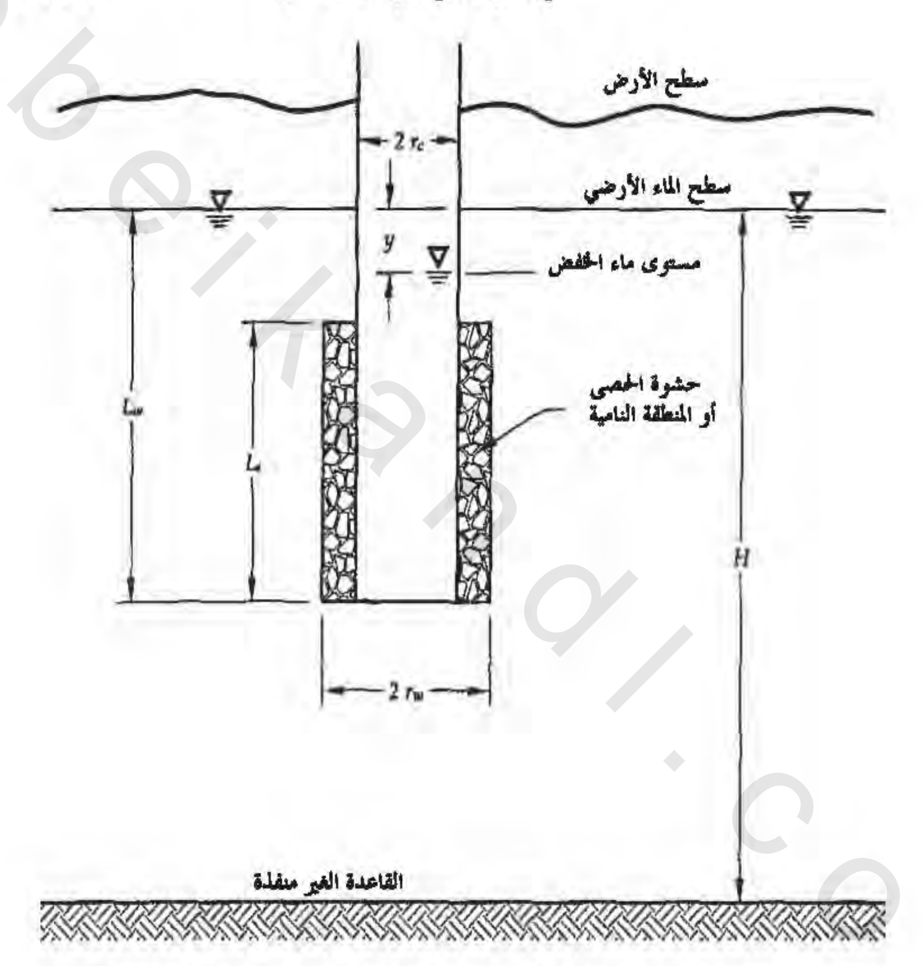
اختبارات الكتلة Slug Tests

في بعض المواقع الميدانية، يمكن أن يكون معامل التوصيل الهيدروليكي للوسط المسامي صغير جداً، أو أن قطر، أو عمق، أو إنتاجية البئر يمكن أن تكون صغيرة جداً (مثلاً، في المدى من ٥ إلى ٢٠٠ م٣/ اليوم) لدرجة لا يمكن معها إجراء اختبارات الضخ، أو أن نطاق البيانات يمكن ألا يكفل اختبارات الضخ. في مثل هذه الحالات، يمكن لبئر اختبار الكتلة أن يكون مفيداً كطريقة سريعة نسبياً وفعالة من حيث التكلفة لتقدير معامل التوصيل الهيدروليكي لطبقة الماء الأرضي. ويمكن تطبيق هذا الاختبار على الآبار المخترقة جزئياً في الطبقات الحاملة للمياه غير المحصورة والآبار المخترقة كلياً في الطبقات الحاملة للمياه المحصورة (Bouwer and Rice 1976; Boiwer 1989; Cooper *et al.* 1967). ويتكون الاختبار من خفض أو رفع مستوى الماء سريعاً في البئر من وضع الاتزان وقياس الارتفاع أو الانخفاض اللاحق مع الزمن.

obeikandi.com

وبالرجوع إلى الشكل رقم (٤,٣)، والمعادلة رقم (٤,١٧) نحصل على:

$$Q = 2\pi K L_e y / [\ln R_e / r_w] \quad (٤,٩٦)$$



الشكل رقم (٤,٣). الرسم التخطيطي لبئر اختبار الكتلة.

حيث إن:

Q = التصرف الداخل إلى البئر (إذا انخفض مستوى الماء في البئر لحظياً) أو الخارج من البئر (إذا ارتفع مستوى الماء لحظياً).

K = معامل التوصيل الهيدروليكي للطبقة الحاملة للماء داخل نصف قطر قدره R_e حول البئر وعمق يزيد قليلاً عن L_e .

L_e = طول المصفاة أو الجزء المثقب أو المفتوح من البئر.

y = الارتفاع أو الانخفاض في مستوى الماء في البئر.

r_w = المسافة النصف قطرية من الجزء غير المضطرب من البئر للطبقة الحاملة للماء من محور البئر.

R_e = المسافة النصف قطرية الفعالة والتي يتلاشى فوقها y .

ومعدل الارتفاع لمستوى الماء بعد أن انخفض مستوى الماء سريعاً:

$$dy/dt = -Q/\pi r_c^2 \tag{٤,٩٧}$$

حيث إن:

r_c = نصف قطر البئر.

πr_c^2 = مساحة قطاع عرضي من البئر حيث يرتفع مستوى الماء.

t = الزمن.

وبالتالي:

$$dy/dt = -2KL_e y/\left[r_c^2 \ln(R_e/r_w)\right] \tag{٤,٩٨}$$

إذا كانت $y = y_0$ عندما $t = 0$ ، و $y = y_t$ عند زمن t ، إذن:

$$K = \left[\{r_c^2 \ln(R_e/r_w)\}/(2L_e)\right]\left[(1/t)\ln(y_0/y_t)\right] \tag{٤,٩٩}$$

أو

$$\log(y_0/y_t) = \left[0.8686KL_e/\{r_c^2 \ln(R_e/r_w)\}\right] t \tag{٤,١٠٠}$$

وعند $H < L_w$:

$$\ln(R_e/r_w) = \left[\{1.1/\ln(L_w/r_w)\} + \{A + B\ \ln(H - L_w)/r_w\}/(L_e/r_w)\right]^{-1} \tag{٤,١٠١}$$

وعند $H = L_w$:

$$\ln(R_e/r_w)=\left[\{1.1/\ln(L_w/r_w)\}+\{C/(L_e/r_w)\}\right]^{-1} \qquad (٤,١٠٢)$$

حيث إن:

L_w = عمق اختراق البئر تحت منسوب الماء الأرضي.

H = ارتفاع منسوب الماء الأرضي فوق القاعدة غير المنفذة (الشكل رقم ٤,٣).

A, B, C هي المعاملات اللابعدية.

القيم التقريبية لهذه المعاملات معطاة في الجدول رقم (٤,١٥).

الجدول رقم (٤,١٥). القيم التقريبية للمعاملات اللابعدية A ، B ، C.

L_e/r_w	A	B	C
٤	١,٧	٠,٣	٠,٨
٥	١,٨	٠,٣	٠,٩
١٠	١,٩	٠,٣	١,٢
٢٥	٢,٣	٠,٤	١,٨
٥٠	٣,٠	٠,٥	٢,٧
١٠٠	٤,٢	٠,٨	٤,٢
٢٥٠	٦,٥	١,٤	٧,٨
٥٠٠	٨,٠	٢,٢	١٠,٥
٧٥٠	٨,٦	٢,٥	١١,٦
١٠٠٠	٩,١	٢,٨	١٢,٣
٢٠٠٠	٩,٦	٣,٣	١٣,٠

المصدر: Bouwer and Rice (1976) ; Bouwer (1989) ; Cooper *et al.* (1967).

obeikandl.com

ويمكن استخدام اختبار الكتلة لآبار الإنتاج، أو آبار الملاحظة، أو آبار المراقبة. ويمكن تنفيذ الاختبار عن طريق غمس جزء من أنبوب مملوءة بالرمل أو الحصى ومغلقة بسدادات من كلا الطرفين أو غرض أخر شبيه في ثقب الحفر. ويتم السماح لمستوى الماء في ثقب الحفر بالعودة إلى حالة الاتزان، ويتم إزالة الغرض المنغمس سريعاً. يتم تسجيل الارتفاع اللاحق لمستوى الماء في البئر مع الزمن. عادة يستخدم سجل البيانات لتسجيل وتخزين البيانات لتحليلها. ويمكن إعداد تخطيطاً بيانياً للبيانات مع y (المقياس اللوغاريتمي) على المحور الرأسي و t (المقياس الطبيعي) على المحور الأفقي. ويكون الميل θ (مع المحور الأفقي) للخط المستقيم المار بنقاط البيانات على هذا التخطيط يعطى بالمعادلة:

$$\tan\theta = 0.8686\ K\ L_e / \left[r_c^2 \ln\ (R_e / r_w) \right] \qquad (٤,١٠٣)$$

وبمعرفة $\tan\theta$، L_e، r_c، R_e يمكن تقدير قيمة K من المعادلة رقم (٤,١٠٣). وعادة، يتم عمل التخطيط البياني والحسابات باستخدام برامج الحاسوب (مثل AQTESOLV, Duffield and Rumbaugh 1989).

وفي بعض الحالات، يمكن أن تلاءم البيانات خطين مستقيمين، واحد للقيم الأصغر عندما تكون t أكثر انحداراً من القيم الأكبر لـ t. في مثل هذه الحالات، فإن الخط المستقيم الأول (الأكثر انحداراً) يعكس الصرف من حشوة الحصى. والخط المستقيم الثاني يكون ممثلاً للتوصيل الهيدروليكي المضطرب لطبقة الماء الأرضي. وإذا كانت حشوة الحصى محاطة بمنطقة أقل نفاذية، فيمكن أن تلائم البيانات ثلاث خطوط مستقيمة، واحد للقيم الصغيرة جداً لـ t، والثاني عند القيم المتوسطة لـ t، والثالث عند القيم الأكبر لـ t. ومرة أخرى، يمكن أن يمثل الخط المستقيم الأخير معامل التوصيل الهيدروليكي المضطرب لطبقة الماء الأرضي.

وفي اختبارات الكتلة، يكون فرق الضاغط بين منسوب الماء الثابت ومستوى الماء في البئر، أكثر تشتتاً في الجوار القريب للبئر حول المصفاة أو الجزء المثقوب. وبالتالي، إذا كانت قمة الجزء المصور أو المثقوب منخفضة بشكل كاف عن قاع طبقة علوية حاجزة، فإنه يمكن للاختبار أن يقدم قيم معقولة لمعامل التوصيل الهيدروليكي حتى للطبقات الحاملة للمياه المحصورة. ويمكن أن تكون اختبارات الكتلة غير مفيدة عند تقدير معامل التوصيل الهيدروليكي لطبقات الماء الأرضي الأكبر (أي، الأعمق أو الأكبر في المدى المساحي). وتوضح مقارنة معامل التوصيل الهيدروليكي المقدر باختبار الكتلة مع القيم المقدرة باختبارات الضخ، أن نتائج اختبارات الضخ تكون بشكل عام منخفضة.

مثال رقم (٤,١٨): معلومات بئر اختبار الكتلة (ارتفاع مستوى الماء مع الزمن) لبئر بنصف قطر تغليف ٢,٥٤ سم، ونصف قطر حشوة حصى ١٢,٧ سم، وطول المصفاة ١٥٢,٤ سم مبينة في الجدول رقم (٤,١٦). ويبلغ السمك المشبع لطبقة الماء الأرضي المفلطح ١٧٥,٣ سم، ويخترق البئر العمق الكلى لطبقة الماء الأرضي. وفي البداية، انخفض مستوى الماء في البئر بمقدار ٣٧,١٩ سم. احسب معامل التوصيل الهيدروليكي لطبقة الماء الأرضي.

الحل:

يمكن تحليل بيانات بئر اختبار الكتلة باستخدام برامج الحاسوب مثل AQTESOLV (Duffield and Rumbaugh 1989). عندما لا يكون الوصول إلى مثل هذه البرامج متاحاً بشكل فوري، فيمكن عمل تحليل تقريبي أبسط باستخدام الانحسار الخطى اعتماداً على المعادلة رقم (٤,١٠٠).

في هذا المثال تكون:

$y_0 = 37.19\ cm$, $r_c = 2.54\ cm$, $r_w = 12.7\ cm$
$L_e = 152.4\ cm$, $H = L_w = 175.3\ cm$, $L_e / r_w = 12$

وحيث إن $L_w = H$، ومن الجدول رقم (٤,١٥) لقيمة L_e / r_w تساوي ١٢ نجد أن قيمة C تساوي ١,٢٨.

والقيم المحسوبة لـ y_0 / y و $\log(y_0 / y)$ مدونة في الأعمدة (٣)، (٤)، (٧)، و (٨).

ويمكن إهمال البيانات التي تسبق زمن ٠,٦ ث بسبب تأثير حشوة الحصى، كما يمكن إهمال البيانات التي تلي زمن ٧٣,٨ ث؛ لأن الخط المستقيم المرسوم لتلك النقاط الأخيرة ينحرف بشكل كبير عن الخط المار خلال النقاط فيما بين ٠,٦ ث و ٧٣,٨ ث.

الانحسار الخطى بين نقاط البيانات الـ ٣٠ المتبقية يعطي المعادلة:

$$\log(y_0 / y_t) = 0.0176t + 0.156$$

بمعامل ارتباط (r) يساوي ٠,٩٩.

من المعادلة رقم (٤,١٠٠):

$$\log(y_0 / y_t) = \left[0.8686KL_e / \left\{r_c^2 \ln(R_e / r_w)\right\}\right] t$$

وبالتالي:

$$\left[0.8686\ K\ L_e / \left\{r_c^2 \ln(R_e / r_w)\right\}\right] = 0.0176$$

ومن المعادلة رقم (٤,١٠٢):

$$\ln(R_e / r_w) = \left[\left\{1.1 / \ln(175.3/12.7)\right\} + \left\{1.28 / (152.4/12.7)\right\}\right]^{-1}$$
$$= \left[0.41906 + 0.10667\right]^{-1} = 1.90213$$

إذن:

$$K = \left[0.0176 \times (2.54)^2 \times 1.90213\right] / (0.8686 \times 152.4) = 0.00163\ cm/s$$

والقيمة المقدرة باستخدام نموذج AQTESOLV تساوى ٠,٠٠١٦ سم/ ث.

ويمكن رؤية الانحسار الخطى مع كل نقاط البيانات الـ ٥٠ (باستثناء القيمة الأولى y_0 تساوي ٣٧,١٩ سم) مع الحصر الغير صفري يعطي:

$$\log(y_0 / y_t) = 0.57 + 0.0038\ t$$

مع معامل ارتباط منخفض نسبياً $(r) = 0.57$.

الجدول رقم (٤,١٦). بيانات بئر اختبار الكتلة.

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)
t (ث)	y (سم)	y_0/y	$\log (y_0/y)$	t (ث)	y (سم)	y_0/y	$\log (y_0/y)$
٠	٣٧,١٩	١.٠٠٠٠	٠	٣٨,٨	٤,٨٨	٧,٦٢٠٩	٠,٨٨٢٠
٠,٢	٣٣,٥٣	١,١٠٩٢	٠,٠٤٥٠	٤٣,٨	٣,٩٦	٩,٣٩١٤	٠,٩٧٢٧
٠,٤	٣٣,٢٢	١,١١٩٥	٠,٠٤٩٠	٤٨,٨	٣,٣٥	١١,١٠١٥	١,٠٤٥٤
٠,٦	٣٢,٠٠	١,١٦٢٢	٠,٠٦٥٣	٥٣,٨	٢,٧٤	١٣,٥٧٣٠	١,١٣٢٧
٠,٨	٣١,٠٩	١,١٩٦٢	٠,٠٧٧٨	٥٨,٨	٢,٤٤	١٥,٢٤١٨	١,١٨٣٠
١,٨	٢٧,٤٣	١,٣٥٥٨	٠,١٣٢٢	٦٣,٨	٢,١٣	١٧,٤٦٠١	١,٢٤٢٠
٢,٨	٢٤,٩٩	١,٤٨٨٢	٠,١٧٢٧	٦٨,٨	١,٨٣	٢٠,٣٢٢٤	١,٣٠٨٠
٣,٨	٢٣,١٦	١,٦٠٥٨	٠,٢٠٥٧	٧٣,٨	١,٥٢	٢٤,٤٦٧١	١,٣٨٨٦
٤,٨	٢١,٦٤	١,٧١٨٦	٠,٢٣٥٢	٧٨,٨	١,٥٢	٢٤,٤٦٧١	١,٣٨٨٦
٥,٨	٢٠,٤٢	١,٨٢١٣	٠,٢٦٠٤	٨٣,٨	١,٢٢	٣٠,٤٨٣٦	١,٤٨٤١
٦,٨	١٩,٥١	١,٩٠٦٢	٠,٢٨٠٢	٨٨,٨	١,٢٢	٣٠,٤٨٣٦	١,٤٨٤١
٧,٨	١٨,٨٩	١,٩٦٧٧	٠,٢٩٤٠	٩٣,٨	١,٢٢	٣٠,٤٨٣٦	١,٤٨٤١
٨,٨	١٧,٩٨	٢,٠٦٨٤	٠,٣١٥٦	٩٨,٨	١,٢٢	٣٠,٤٨٣٦	١,٤٨٤١
٩,٨	١٧,٣٧	٢,١٤١٠	٠,٣٣٠٦	١٠٣,٨	١,٢٢	٣٠,٤٨٣٦	١,٤٨٤١

obeikandl.com

تابع الجدول رقم (٤,١٦). بيانات بئر اختبار الكتلة.

(١) t (ثانية)	(٢) y (سم)	(٣) y_o/y	(٤) $\log (y_o/y)$	(٥) t (ثانية)	(٦) y (سم)	(٧) y_o/y	(٨) $\log (y_o/y)$
١٠,٨	١٦,٧٦	٢,٢١٩٠	٠,٣٤٦٢	١٠٨,٨	١,٢٢	٣٠,٤٨٣٦	١,٤٨٤١
١١,٨	١٦,١٥	٢,٣٠٢٨	٠,٣٦٢٣	١١٣,٨	١,٢٢	٣٠,٤٨٣٦	١,٤٨٤١
١٢,٨	١٥,٥٤	٢,٣٩٣٢	٠,٣٧٩٠	١١٨,٨	١,٢٢	٣٠,٤٨٣٦	١,٤٨٤١
١٣,٨	١٤,٦٣	٢,٥٤٢٠	٠,٤٠٥٢	١٤٨,٨	٠,٩١	٤٠,٨٦٨١	١,٦١١٤
١٤,٨	١٤,٠٢	٢,٦٥٢٦	٠,٤٢٣٧	١٧٨,٨	٠,٦١	٦٠,٩٦٧٢	١,٧٨٥١
١٥,٨	١٣,٤١	٢,٧٧٣٣	٠,٤٤٣٠	٢٠٨,٨	٠,٦١	٦٠,٩٦٧٢	١,٧٨٥١
١٦,٨	١٢,٨٠	٢,٩٠٥٥	٠,٤٦٣٢	٢٣٨,٨	٠,٦١	٦٠,٩٦٧٢	١,٧٨٥١
١٧,٨	١١,٨٩	٣,١٢٧٨	٠,٤٩٥٢	٢٦٨,٨	٠,٦١	٦٠,٩٦٧٢	١,٧٨٥١
١٨,٨	١١,٥٨	٣,٢١١٦	٠,٥٠٦٧	٣٨٨,٨	٠,٦١	٦٠,٩٦٧٢	١,٧٨٥١
٢٣,٨	٩,١٤	٤,٠٦٨٩	٠,٦٠٩٥	٥٠٨,٨	٠,٦١	٦٠,٩٦٧٢	١,٧٨٥١
٢٨,٨	٧,٣٢	٥,٠٨٠٦	٠,٧٠٥٩	٥٩٨,٨	٠,٣٠	١٢٣,٩٦٦٧	٢,٠٩٣٣
٣٣,٨	٥,٧٩	٦,٤٢٣١	٠,٨٠٧٧				

انتقال الملوثات في المنطقة المشبعة Contaminant Transport in Saturated Zone

يمكن أن تكون الملوثات التي توجد في المياه الجوفية قابلة للامتزاج (قابلة للذوبان) أو لا تقبل الامتزاج بالماء. إن خاصية الملوثات التي تحكم قابليتها للامتزاج مع الماء هي الإذابة. وهي الكتلة القصوى من المادة الكيميائية التي يمكن أن تذاب في كمية محددة من المذيب (مثل الماء) عند درجة حرارة محددة ويعبر عنها بأنها كتلة المادة الكيميائية لكل وحدة حجم من المذيب. والمواد الكيميائية التي لها إذابة مائية منخفضة (أي، أقل من ٢٠٠٠٠ ملجم/ل) يمكن أن تتواجد كطور سائل منفصل في طبقة الماء

obeikandi.com

الأرضي. وتسمى هذه المواد الكيميائية بسوائل الطور غير المائي (NAPLs). وإذا كانت كثافة سوائل الطور غير المائي أقل من كثافة الماء، فإنها تسمى سوائل الطور غير المائي الخفيفة (LNAPL). ومن الأمثلة على سوائل الطور غير المائي الخفيفة، الجازولين، وزيت الوقود، والبنزين، والطولوين، والإيثيل بنزين، والزيلين (BTEX). وإذا كانت كثافتها أعلى من كثافة الماء، فإنها تسمى سوائل الطور غير المائي الثقيلة (DNAPL). ومن الأمثلة على سوائل الطور غير المائي الثقيلة، إيثيلين الكلور الرباعي (PCE)، وإيثيلين الكلور الثلاثي (TCE)، والكلوروفورم. ويمكن أن يوجد سائل عضوي كطور منفصل ثابت في حالة الاتزان مع الماء فقط بعد أن يصل تركيزه المذاب في الماء حد التشبع (Pankow and Cherry 1996). والقيم المختلفة للإذابة، ومعامل تقسيم الكربون العضوي (K_{oc})، ومعامل التحلل (λ)، والكثافة، واللزوجة الكينامتيكية (ν) لنفس المركب العضوي مدونة في عدة مراجع (Weast 1987; Maidment 1993; Panhow and Cherry 1996; IPCB 2001). والقيم النموذجية لها مبينة في الجدول رقم (٤,١٧).

ويمكن أن تشمل الملوثات القابلة للامتزاج المعادن الموجودة بشكل طبيعي في تكوينات الصخور، والملوثات المنزلية التي يساهم بها التسرب من الأنظمة التي تسبب العفن أو خطوط المجارى، أو الأنواع المختلفة من الكيماويات الصناعية، والملوثات التي تحملها المياه المتسربة من المناطق الزراعية. ويمكن أن تشمل الكيماويات الصناعية المركبات العضوية القابلة للذوبان الطيارة وغير الطيارة (VOCs or non-VOCs) أو المركبات غير العضوية القابلة للذوبان. ويشمل انتقال المواد القابلة للذوبان في المياه الجوفية، انتقال الحرارة في اتجاه أفقي، والتشتت الميكانيكي، والانتشار

الجزيئي، والأمتزاز/ المج، والتحلل أو التفسخ الحيوي. ومعادلة بقـاء الكتلـة لانتقـال الملوثات القابلة للذوبان في المياه الجوفية هي:

$$R_d \partial C/\partial t = D_x \partial^2 C/\partial x^2 + D_y \partial^2 C/\partial y^2 + D_z \partial^2 C/\partial z^2 - u\partial C/\partial x - \lambda R_d C$$
(٤,١٠٤)

حيث إن:

$D_x = \alpha_x u =$ معامل التشتت الطولي (اتجاه - x).

$D_y = \alpha_y u =$ معامل التشتت الجانبي (اتجاه - y).

$D_z = \alpha_z u =$ معامل التشتت الرأسي (اتجاه - z).

$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z =$ التشتتات الطولية والجانبية والرأسية، عـلى الترتيـب، للوسـط المنفذ.

$u =$ متوسط السرعة المنتظمة للمادة الملوثة في الاتجاه - $x = u_d / \varphi$.

$u_d =$ سرعة دارسي في الاتجاه - x.

$\varphi =$ معامل النفاذية.

$C =$ تركيز المادة المذابة.

$t =$ الزمن.

$x, y, z =$ الإحداثيات الكارتيزية، مثل السرعة المنتظمة للمادة الملوثة في الاتجـاه x

$R_d =$ معامل التخلف.

$\lambda =$ معامل التحلل أو التفسخ للمادة الكيميائية.

ooeikandal.com

الجدول رقم (٤,١٧). القيم النموذجية للإذابة K_{oc} و λ والكثافة و ν .

المادة الكيماوية	الإذابة (ملجم/ ل)	K_{oc} (ملل/ جم)	λ (يوم$^{-1}$)	الكثافة (جم/ ملل)	ν عند درجة ٢٥ مئوي (سم^2/ ث)
		سوائل الطور غير المائي الخفيفة (LNAPL)			
بنزين	١٧٥٠	٥٨,٩	٠,٠٠٠٩	٠,٨٨	٠,٠٠٦١
طولوين	٥٢٦	١٨٢	٠,٠١١	٠,٨٧	٠,٠٠٥٦
اثيل البنزين	١٦٩	٣٦٣	٠,٠٠٣	٠,٨٧	٠,٠٠٦٨
زيلين	١٨٦	٢٦٠	٠,٠٠١٩	٠,٨٨	٠,٠٠٧٦
كلوريد الفينيل	٢٧٦٠	١٨,٦ ، ٥٧	٠,٠٠٠٢٤	٠,٩٢	–
		سوائل الطور غير المائي الثقيلة (DNAPL)			
ايثلين الكلور الرباعي (PCE)	٢٠٠	١٥٥ ، ٣٦٤	٠,٠٠٠٩٦	١,٦٣	٠,٠٠٥٤
ايثلين الكلور الثلاثي (TCE)	١١٠٠	١٢٦ ، ١٦٦	٠,٠٠٠٤٢	١,٤٦	٠,٠٠٣٩
الكلوروفورم	٧٩٢٠	٣٩,٨ ، ٤٧	٠,٠٠٠٣٩	١,٤٩	٠,٠٠٣٨
ايثلين الكلور الثنائي (جانب)	٣٥٠٠	٣٥,٥ ، ٤٩	٠,٠٠٠٢٤	١,٢٨	٠,٠٠٣٨
ايثلين الكلور الثنائي (جانبين)	٦٣٠٠	٥٢,٥ ، ٥٩	٠,٠٠٠٢٤	١,٢٦	٠,٠٠٣٢
كلورو بنزين	٤٧٢	٢١٩ ، ٣٣٠	٠,٠٠٢٣	١,١١	٠,٠٠٧٢

المصدر: West (1987); Maidment (1993); Pankow and gherry (1996); IPCB (2001).

obeikandi.com

تسمى المعادلة رقم (٤,١٠٤) بمعادلة الانتشار التشتتي، أو الانتشار التصاعدي، أو الانتشار الهيدروليكي وهي صالحة فقط إذا كانت $v = w = 0$، حيث v و w سرعتا السم في الاتجاه y و z، على الترتيب. ونظرياً في حالة $v = w = 0$، فإن $\alpha_y = \alpha_z$ (Bear 1979). ومع هذا ففي معظم الحالات العملية تستخدم قيم مختلفة لـ α_y, α_z. أبعاد التشتت هي نفس أبعاد الطول. ومعامل التخلف اللابعدي ويحدد بالمعادلة:

$$R_d = 1 + \{(1-\varphi)/\varphi\}\rho_s K_d = 1 + \rho_b K_d / \varphi \qquad (٤,١٠٥)$$

حيث إن:

ρ_s = كثافة حبيبات التربة.

ρ_b = الكثافة الظاهرية الجافة للوسط المسامي.

K_d = معامل توزيع المادة الكيميائية.

عادة ما يعرف معامل التوزيع بخط الاتزان الحراري الخطى، رغم أنه يمكن أن يكون هناك خطوط تساوي حرارة غير خطية يمكن تطبيقها في بعض الحالات:

$$S = K_d C \qquad (٤,١٠٦)$$

حيث إن:

S = كتلة المكونات الممتزة لكل وحدة كتلة من حبيبات التربة.

والقيم النموذجية لـ K_d للمواد المختارة غير العضوية (المعادن) موضحة في الجدول رقم (٤,١٨) (Rai and Zachara 1984; Dragun 1988). وقيم K_d المختلفة بشكل كبير مدونة لنفس المواد في أنواع مختلفة من التربة وبيئات مختلفة. وقيم K_d المدونة في الأنهار بمواد صلبة عالقة تركيزها ١٠٠٠ ملجم/ل، موضحة أيضاً في الجدول رقم (٤,١٨) (USEPA 1985).

الجدول رقم (٤,١٨). قيم K_d للمواد المختارة غير العضوية (المعادن).

المادة	K_d (ملل/ جم) في التربة المشبعة	K_d (ملل/ جم) في محلول التربة المحملة بمواد صلبة عالقة تركيزها ١٠٠٠ ملجم/ ل
زرنيخ	١,٩ – ١٨ (المتوسط ٦,٧)	٣٠٠٠
كادميوم	١,٢ – ٢٥ (رواسب النهر)	٢٠٠٠
نحاس	٢,٢ – ٤٣ (كلوين نقي)	٦٠٠٠
رصاص	٤,٥ – ٧٦٤٠ (المتوسط ٩٩,٥)	٩٠٠٠٠
سيلنيوم	١,٢ – ٨,٦ (المتوسط ٢,٧)	–
زئبق	٣٠٠٠٠ – ٢٢٤٠٠٠ (بنتونيت)	١٠٠٠

المصدر: Rai and Zachara (1984) ; USEPA (1985).

وبالنسبة للمواد الكيميائية العضوية:

$$K_d = f_{oc} K_{oc} \quad (٤,١٠٧)$$

حيث إن:

f_{oc} = وزن الجزء من الكربون العضوي الموجود في التربة.

K_{oc} = معامل توزيع الكربون العضوي من المكون العضوي.

قيم f_{oc} النموذجية لأنواع التربة المختلفة موضحة في الجدول رقم (٤,١٩) (Maidment 1993; Pankow and Cherry 1996). وقيم f_{oc} المقترح إهمالها هي ٠,٠٠٦ لأسطح التربة و ٠,٠٠٢ تحت أسطح التربة (IPCB 2001). مع هذا، بقدر الإمكان، فإن قيم f_{oc} المقاسة ميدانياً هي التي يجب استخدامها.

وتحدد عملية التحلل أو التفسخ الحيوي بـ:

$$C = C_0 e^{-\lambda t} \quad (٤,١٠٨)$$

obeikandl.com

حيث إن:

C_0 = التركيز عند زمن، $t = 0$.

C = التركيز عند زمن، t .

عندما يكون $C = C_0 / 2$ فإن:

$$\lambda = \ln(2)/t_L \quad (٤,١٠٩)$$

حيث إن:

t_L = نصف عمر المكون.

الجدول رقم (٤,١٩). القيم النموذجية لمكون الكربون العضوي في التربة.

نوع التربة	f_{oc}
الطمي الطيني	٠,٠١ – ٠,١٦
طفل رملي	٠,١٠
طفل طيني	٠,٠١ – ٠,٠٢
الحصى والرمل والطمي الغير متراصف	٠,٠٠١ – ٠,٠٠٦
الرمل المتوسط إلى الناعم	٠,٠٠٠٢
الرمل	٠,٠٠٠٣ – ٠,١
الرمل والحصى	٠,٠٠٠٠٨ – ٠,٠٠٧٥
الحصى الخشن	٠,٠٠١١

المصدر: Maidment (1993) ; Pankow and Cherry (1996).

وكذلك تصنف المواد الكيميائية العضوية على أنها مركبات عضوية طيارة قابلة للذوبان (VOCs) وكيماويات عضوية شبه طيارة (SVOCs). الكيماويات ذات ضغط البخار أقل من $١٠^{-٧}$ مم زئبق تتطاير في الهواء بدرجة يمكن إهمالها، بينما الكيماويات

obeikandi.com

ذات ضغط البخار أكبر من ١٠^-٢ مم زئبق سوف تتطاير وتبقى موجودة في الغلاف الجوى أو هواء التربة (Dragun 1988). الكيماويات العضوية ذات الانتشارية العالية نسبياً في الهواء (مثلاً، أكبر من حوالي ٠,٠٥٩ سم^٢/ ث) وذات ضغط بخار عالي تسمى المكونات العضوية الطيارة. والكيماويات العضوية الطيارة ذات الانتشارية وضغط البخر الأقل تسمى المكونات شبه الطيارة. تشمل الأمثلة على المركبات العضوية الطيارة القابلة للذوبان: الكلوروفورم، وإيثيلين الكلور الرباعي، وإيثيلين الكلور الثلاثي، وإيثيلين الكلور الثنائي، وكلوريد الفينيل، والبنزين، والطولوين، والإيثيل بنزين، والزيلين. وتشمل الأمثلة على المركبات العضوية القابلة للذوبان شبه الطيارة: الفينول، وإيثان الكلور السداسي، وبنزين الكلور السداسي، والنفتالين.

وفي ظروف الحالة المستقرة، فإن الحل الشائع الاستخدام للمعادلة رقم (٤,١٠٤) لتركيزات خط المنتصف (أي، عند $y = 0, z = 0$) هو:

$$C/C_0 = \exp\left[\{x/2\alpha_x\}\left\{1-\sqrt{(1+4\lambda'\alpha_x/u)}\right\}\right]\times \operatorname{erf}\left[S_w/\left\{4\sqrt{(\alpha_y x)}\right\}\right]\cdot \operatorname{erf}\left[S_d/\left\{4\sqrt{(\alpha_z x)}\right\}\right] \quad (٤,١١٠أ)$$

حيث إن:

C_0 = التركيز عند المصدر.

C = تركيز خط المنتصف عند x عندما $y = z = 0$.

$\lambda' = \lambda R_d$.

S_w = عرض المصدر في الاتجاه $- y$.

S_d = عمق المصدر في الاتجاه $- z$.

وعندما تكون $R_d = 1$ (أي، عدم وجود امتزاز)، فالمعادلة رقم (٤,١٠٠أ) تقل إلى معادلة دومينيكو (Domenico 1987; ASTM 1955; IPCB 2001). الحل المناظر للحالة غير المستقرة لتركيزات خط المتصف عند زمن t، هو:

$$C/C_0 = (1/2)\exp\left[\{x/(2\alpha_x)\}\left\{1-\sqrt{(1+4\lambda'\alpha_x/u)}\right\}\right]\times$$
$$\mathrm{erf}\left[\left\{x-ut\sqrt{(1+4\lambda'\alpha_x/u)}\right\}/\left\{2\sqrt{\alpha_x ut}\right\}\right]\times$$
$$\mathrm{erf}\left[S_w/\left\{4\sqrt{(\alpha_y x)}\right\}\right]\times \mathrm{erf}\left[S_d/\left\{4\sqrt{(\alpha_z x)}\right\}\right] \qquad (٤,١١٠ب)$$

وتركيز الحالة المستقرة عند أي نقطة (x, y, z) يعطى بـ:

$$C/C_0 = (1/4)\exp\left[\{x/(2\alpha_x)\}\left\{1-\sqrt{(1+4\lambda'\alpha_x/u)}\right\}\right]\times$$
$$\left\{\mathrm{erf}\left[(y+S_w/2)/\left\{2\sqrt{(\alpha_y x)}\right\}\right]-\mathrm{erf}\left[(y-S_w/2)/\left\{2\sqrt{\alpha_y x}\right\}\right]\right\}\times$$
$$\left\{\mathrm{erf}\left[(z+S_d/2)/\left\{2\sqrt{(\alpha_z x)}\right\}\right]-\mathrm{erf}\left[(z-S_d/2)/\left\{2\sqrt{(\alpha_z x)}\right\}\right]\right\} \qquad (٤,١١٠ج)$$

و أخيراً، فإن تركيز الحالة غير المستقرة عند أي نقطة (x, y, z) وعند زمن t يعطى بـ:

$$C/C_0 = (1/8)\exp\left[\{x/(2\alpha_x)\}\left\{1-\sqrt{(1+4\lambda'\alpha_x/u)}\right\}\right]\times \mathrm{erfc}\left[\{x-\right.$$
$$\left.ut\sqrt{(1+4\lambda'\alpha_x/u)}\}/\left\{2\sqrt{(\alpha_x ut)}\right\}\right]\times\left\{\mathrm{erf}\left[(y+S_w/2)/\left\{2\sqrt{(\alpha_y x)}\right\}\right]-\right.$$
$$\left.\mathrm{erf}\left[(y-S_w/2)/\left\{2\sqrt{(\alpha_y x)}\right\}\right]\right\}\times\left\{\mathrm{erf}\left[(z+S_d/2)/\left\{2\sqrt{(\alpha_z x)}\right\}\right]-\right.$$
$$\left.\mathrm{erf}\left[(z-S_d/2)/\left\{2\sqrt{(\alpha_z x)}\right\}\right]\right\} \qquad (٤,١١٠د)$$

إذا كان السطح العلوي للطبقة الملوثة يتطابق مع منسوب الماء الأرضي، فإن الطبقة تنتشر في الاتجاه العكسي، وتستبدل الكمية $S_d/2$ في المعادلة رقم (٤,١١٠أ)

حتى المعادلة رقم (٤,١١٠د) بالكمية S_d (Domenico and Robbins 1985) . على سبيل المثال، فإن حل تركيزات خط المتصف في الحالة المستقرة تصبح:

$$C/C_0 = \exp\left[\left\{x/(2\alpha_x)\right\}\left\{1-\sqrt{(1+4\lambda'\alpha_x/u)}\right\}\right]\times$$
$$\mathrm{erf}\left[S_w/\left\{4\sqrt{(\alpha_y x)}\right\}\right]\times \mathrm{erf}\left[S_d/\left\{2\sqrt{(\alpha_z x)}\right\}\right] \quad (٤,١١١)$$

والمعادلات العملية الأكثر استخداماً لتقدير الانتشار الطولي والجانبي والرأسي هي كالتالي (USEPA 1985):

$$\alpha_x = 0.1\,L \quad ، \quad \alpha_y = \alpha_x/3 \quad ، \quad \alpha_z = \alpha_x/20 \quad (٤,١١٢)$$

حيث إن:

L = طول مسار السريان.

ويمكن إجراء الحسابات باستخدام المعادلات رقم (٤,١١٠أ)، ورقم (٤,١١٠ب)، ورقم (٤,١١٠ج)، ورقم (٤,١١٠د)، ورقم (٤,١١١) باستخدام ورقة عمل منفصلة أو برنامج فورتران. والحلول التحليلية التقريبية لحالات الانتقال في الحالة المستقرة، التي لا تأخذ في حسبانها السريان عبر منسوب الماء الأرضي أو الطبقة الحاجزة العلوية وخلال قاع الطبقة الحاجزة، يمكن أن نحصل عليه باستخدام طريقة الصور، ويجب معرفة أن مساهمة D_x في الانتقال يكون مهملاً في الحالة المستقرة (Prakash 1982). ويمكن استخدام معادلات مثيلة لحالات الانتقال في الحالة غير المستقرة (Prakash 1982). وتتطلب الحسابات التي تستخدم هذه المعادلات استخدام برامج الحاسب (مثلاً، ورقة عمل أو برنامج فورتران).

ويؤدى رشح الماء الملوث من المصدر إلى الوسط السفلى المسامي المشبع، إلى تكوين منطقة خلط أسفل المصدر. ويكون عمق المصدر S_d، في المعادلة رقم

(٤,١١٠) هو العمق الرأسي لمنطقة الخلط هذه. وإذا لم يكن S_d، معروفاً من القياسات الميدانية، فإنه يمكن تقديره على أنه مجموع مسافة الانتقال بسبب التشتت والانتشار الرأسي (USEPA 1996b):

$$S_d = \left[\sqrt{\{2\alpha_z L_s\}}\right] + H\left[1 - \exp\{-(L_s I)/(u\varphi H)\}\right] \quad (٤,١١٣)$$

حيث إن:

L_s = طول المصدر في اتجاه سريان المياه الجوفية في المنطقة المشبعة (م).

H = سمك طبقة الماء الأرضي المشبعة (م).

I = معدل التسرب الرأسي من المصدر (م/ السنة).

φ = معامل النفاذية الكلية.

u = سرعة الترشح من سريان المياه الجوفية في الاتجاه الأفقي (م/ السنة).

α_z = الانتشارية الرأسية لطبقة الماء الأرضي (م).

وبسبب الخلط مع سريان المياه الجوفية المحيط، يحدث تخفيف لتسرب الماء الملوث من المصدر في منطقة الخلط تحت طول المصدر L_s. وعامل التخفيف DF، تحت المصدر يعطى بالمعادلة:

$$DF = 1 + \left[(u\,\varphi\,H)/(L_s\,I)\right] \quad (٤,١١٤)$$

مثال رقم (٤,١٩): منطقة تخزين للمياه الجوفية يحدث بها تسريب (LUST) بطول ٣ م على طول اتجاه سريان مياه جوفية محيطة في طبقة ماء أرضى مفلطح لها سمك تشبع ٥ م. ويقدر معدل التسريب بمقدار ٢٥سم/ السنة. ومعامل التوصيل الهيدروليكي، ومعدل انحدار المياه الجوفية، ونفاذية طبقة الماء الأرضي، هي ١٢٠ م/ السنة، ٠,٠٠٥، ٠,٣٠ على الترتيب. احسب سمك منطقة الخلط عند حافة ميل الانحدار

لأسفل منطقة التخزين المسرب تحت الأرضي وعامل التخفيف المبدئي أسفله. افترض أن α_Z (م) تساوي ٠,٠٠٥٦ من قيمة L_s.

الحل:

$L_s = 3\ m\ ;\ H = 5\ m\ ;\ K = 120\ m/yr\ ;\ i = 0.005\ ;\ \varphi = 0.030\ ;$

$I = 0.25\ m/yr\ ;\ \alpha_z = 0.0056 \times 3 = 0.0168\ m.$

سرعة الترشح u

$$u = Ki/\varphi = 120 \times 0.005/0.30$$

و

$$u\ \varphi = K\ i = 120 \times 0.005 = 0.60\ m/yr$$

إذن:

$$S_d = \left[\sqrt{\{2 \times 0.0168 \times 3\}}\right] + 5\left[1 - \exp\{-(3 \times 0.25)/(0.60 \times 5)\}\right] = 0.3175 + 1.106 = 1.4235m$$

$$DF = 1 + \left[(0.60 \times 5)/(3 \times 0.25)\right] = 5.0$$

ولسريان المياه الجوفية المعقد وظروف الانتقال، يجب استخدام نماذج رقمية مثل MODFLOW (USGS 2000b) لإنشاء مجال سريان حقلي، ونماذج مثل MT3D (USEPA 1992) لمحاكاة انتقال الملوثات. هناك العديد من حزم برامج الحاسب المتاحة للتزاوج بين مثل نماذج السريان والانتقال هذه (Maidment 1993) .

إذا أمكن افتراض أن سوائل الطور غير المائي الخفيفة LNAPLs وسوائل الطور غير المائي الكثيفة DNAPLs ليست محصورة في تجاويف معزولة في الوسط المسامي، فإنه يمكن عمل تقريب تمهيدي للكميات النسبية من الماء وسوائل الطور غير المائي المنسحب بنظام الضخ والمعالجة باستخدام المعدلات رقم (٤,٧)، ورقم (٤,١٧)،

obeikandl.com

ورقم (٤,٢٣)، ورقم (٤,٨٣)، ورقم (٤,٩٢). وبالتالي، وبالنسبة لظروف الحالة المستقرة:

$$Q_1 / Q_2 = Bv_2 / (bv_1) \quad (٤,١١٥)$$

حيث إن:

Q_1 = المعدل الحجمي للماء المنسحب.

Q_2 = المعدل الحجمي لسوائل الطور المائي المنسحبة.

v_1, v_2 = اللزوجة الكينماتيكية للماء ولسوائل الطور غير المائي، على الترتيب.

B, b = سمك الماء المشبع وسمك سوائل الطور غير المائي المشبع للوسط المسامي، على الترتيب.

وفي ظروف الحالة غير المستقرة:

$$Q_1 / Q_2 = (T_1 / T_2)[W(u_2) / W(u_1)] = Bv_2 / (bv_1)[W(u_2) / W(u_1)] \quad (٤.١١٦)$$

حيث إن:

$$u_1 = Sr_w^2 / (4T_1 t)$$

$$u_2 = Sr_w^2 / (4T_2 t)$$

$$T_1 = K_1 B$$

$$T_2 = K_2 b = K_1 v_1 b / v_2$$

ويجب تدقيق النتائج مع نماذج سريان الطورين المعقدة (المركبة).

مثال رقم (٤,٢٠): قم بإجراء تقديراً تمهيدياً لكمية إيثيلين الكلور الثلاثى التي يمكن أن تسحب خلال نظام الضخ والمعالجة، المصمم لسحب ٢٠ ل/ ث من المياه الجوفية تحت ظروف الحالة المستقرة وأيضاً خلال ستة أشهر (١٨٠ يوماً) من الضخ تحت ظروف الحالة غير المستقرة.

استخدم:

$$S = 0.01 \quad ; \quad B = 10\text{ m} \quad ; \quad b = 1.0\text{ m} \quad ; \quad \nu_1 = 0.011\text{ cm}^2/\text{s}$$
$$\nu_2 = 0.0039\text{ cm}^2/\text{s} \quad ; \quad r_w = 6\text{ cm} \quad ; \quad K_1 = 0.1\text{ cm/s.}$$

الحل:

في ظروف الحالة المستقرة، وباستخدام المعادلة رقم (٤,١١٥):

$$Q_1/Q_2 = 10 \times 0.0039/(1.0 \times 0.011) = 3.55$$

إذا:

$$Q_2 = 20/3.55 = 5.6\ \text{L/s}$$

وبالسماح بمعامل أمان يساوي ٢,٠، نفترض أن النظام يمكن أن يتراجع بحوالي ٢,٥ لتر/ ث من إيثيلين الكلور الثلاثي.

وفي ظروف الحالة غير المستقرة

$$T_1 = 0.001 \times 10 = 0.01\ \text{m}^2/\text{s}$$
$$u_1 = 0.01 \times (0.06)^2/(4 \times 0.01 \times 180 \times 24 \times 3600) = 5.787 \times 10^{-11}$$

و

$$T_2 = 0.001 \times 0.011 \times 1.0/0.0039 = 0.00282\ \text{m}^2/\text{s}$$
$$u_2 = 0.01 \times (0.06)^2/(4 \times 0.00282 \times 180 \times 24 \times 3600) = 2.0518 \times 10^{-10}$$

و

$$W(u_1) = 23.0$$
$$W(u_2) = 21.7$$

وبالتالي، وباستخدام المعادلة رقم (٤,١١٦):

$$Q_1/Q_2 = (0.01/0.00282) \cdot (21.7/23.0) = 3.346$$

إذا

$$Q_2 = 20/3.346 = 5.981 \ L/s$$

وبالسماح بمعامل أمان 2.0، نفترض أن النظام يمكن أن يتراجع بحوالي $3 L/s$ من إيثيلين الكلور الثلاثي.

إن سمك سوائل الطور غير المائي الخفيفة الغير قابلة للامتزاج (أي المنتجات الحرة) المقاسة في بئر تكون أكبر من سمك المنتج الفعلي في طبقة الماء الأرضي. المعادلة التالية معادلة تقريبية مبسطة لتقدير سمك المنتج الحر الفعلي (Hampton):

$$H_T / h_T = G/(1-G) \qquad (٤,١١٧)$$

حيث إن:

H_T = السمك الظاهري من المنتج الحر المقاس في بئر المراقبة.

h_T = السمك الفعلي للمنتج الحر في طبقة الماء الأرضي.

G = الجاذبية النوعية للمنتج الحر.

سريان وانتقال الملوثات خلال الصخر المتصدع

Flow and Contaminant Transport through Fractured Rock

هناك طرق عديدة لتحليل انتقال الملوثات القابلة للامتزاج خلال الصخور المتصدعة. طريقة منهج النفاذية الثنائية هي معقدة نسبياً ومركبة، وتستخدم فيها خصائص هيدروليكية خاصة بالصدوع ومصفوفة الصخر وآثار الأقدام من أنماط الصدوع الفعلية أو المحاكاة (Valliappan and Naghadeh 1991; Sudicky and Therien 1999; Sudicky 1988). ويستخدم المنهج الثاني مكافئات الوسط المسامي للصدوع غير المستمرة، وبالتحديد حيث تكون كثافة الصدوع عالية وتوزيع اتجاهات الصدع غير المنتظم بشكل عالٍ (Freeze and Cherry 1979). في هذه الحالة، يتم تحليل النفاذية

الفعالة (في المدى من 10^{-2} إلى 10^{-5}) ومعامل التوصيل الهيدروليكي الفعال الخاص بكتلة الصخر المتصدع والانتقال، باستخدام طرق قابلة للتطبيق على الأوساط المسامية الدقيقة. ويقدر المنهج الثالث التدفق أحادى البعد، والتشتت، والتخلف خلال الصدوع الفردية (التجاويف) وتجمع النتائج اعتماداً على كثافة الصدع المعلومة أو المفترضة. إذا كان هناك صدوع n (تجاويف) لكل وحدة عرض من الصخر عمودياً على اتجاه السريان، فإن:

$$\varphi = n\,a \tag{٤,١١٨}$$

$$K = \varphi a^2 g/(12\nu) = n a^3 g/(12\nu) \tag{٤,١١٩}$$

حيث إن:

a = عرض التجويف المنفرد وأبعاد n هي أبعاد $1/L$.

ورغم عدم الشيوع التام، فإنه يمكن تقريب الصدوع باعتبارها تجاويف دائرية n قطرها، d، لكل وحدة مساحة من الصخر عمودياً على اتجاه السريان، إذن:

$$\varphi = \pi d^2 n/4 \tag{٤,١٢٠}$$

ويمعرفة n, a أو d, φ، يمكن حساب قيمة K. والقيم النموذجية لـ a أو d تكون في المدى من ٠,٠٠١ إلى ٠,٠٠٥ سم، رغم أنه يمكن أن توجد قيم أصغر أو أكبر في مواقع معينة.

مثال رقم ٤,٢١: أوضح تصوير لعينات صخرية جوفية أن متوسط عرض التصدع هو تقريباً ٠,٠٠٣٥ سم. وهناك حوالي تصدعين لكل سم من عرض الصخر عمودياً على اتجاه السريان. احسب النفاذية المكافئة ومعامل التوصيل الهيدروليكي للصخر المتصدع. استخدم ν تساوي ٠,٠١٣١ سم^2/ ث للمياه الجوفية.

الحل:

باستخدام المعادلة رقم (٤,١١٨) ورقم (٤,١١٩):

$$\varphi = n\,a = 2 \times 0.0035 = 0.007$$

و

$$K = \{2 \times (0.0035)^3 \times 981\} / (12 \times 0.0131) = 5.35 \times 10^{-4}\ cm/s$$

انتقال الملوثات خلال مناطق التربة غير المشبعة (ذات التجاويف) والمشبعة

Contaminant Transport through Unsaturated (Vadose) and Saturated Soil Zones

من الحالات الميدانية المهمة تحليل انتقال الملوثات من مصدر سطح قريب إلى سطح الماء الأرضي خلال المناطق ذات التجاويف، متبوعة بالانتقال خلال المنطقة المشبعة إلى المستقبل المحتمل. ويمكن أن يتكون المصدر من تربة لها أعماق محددة ملوثة بالتسرب من خزانات الكيماويات السائلة، والرشح من خزانات تجميع الفضلات، وتناثر الكيماويات السائلة. ويتم محاكاة وجهة وانتقال مثل هذه الكيماويات باستخدام نماذج سريان المياه الجوفية والانتقال الرقمية. غالباً، تكون تحليلات المستوى الحاجز مطلوبة لمعالجة الموقع، وتقييم الإجراءات التصحيحية المعتمدة على المخاطرة، وتحديد الأطراف المسئولة بشكل محتمل، وتقسيم العوائق البيئية.

النموذج الأول لانتقال الملوثات القابلة للامتزاج خلال المناطق ذات التجاويف تكون في الشكل المذاب في ماء المطر المتسرب. نماذج أخرى تشمل، الانتشار، والتطاير، والتحلل. بالنسبة لتحليل المستوى الحاجز من الانتقال في الشكل المذاب، فإن التسريب بشكل عام يتم تحديده باستخدام متوسط المعدل السنوي ويفترض أن يكون التشتت محدد في الاتجاه الرأسي، ويهمل تأثير الانتشاري الجانبي (الأفقي)، وتكون المنطقة ذات التجاويف متماثلة ومتجانسة، ويكون الأمتزاز خطى

عند مستوى الاتزان (USEPA 1996b; USEPA 1985; IPCB 2001). ويمكـن أيـضاً أن تتعرض الملوثات الممتزة في حبيبات التربة عند رشح المـصدر (بـالمج) مـع مـاء المطـر المتسرب، إلى التفسخ الحيوى مع مرور الزمن. ونتيجة لهـذا، تقـل كتلـة المـادة الملوثـة الممتزة إلى حبيبات التربة مع مرور الزمن. وتتحرك المـادة الملوثـة المذابـة في مـاء المطـر المتسرب قريباً ورأسياً خلال منطقة التربة المـشبعة جزئيـاً حتـى سـطح المـاء الأرضي. وعند الوصول إلى سطح الماء الأرضي، تختلط بالميـاه الجوفيـة المحيطـة وتتحـرك عـلى طول الاتجاه المسيطر لسريان المياه الجوفية.

ومع التقريبات والافتراضات المذكورة مسبقاً، يمكن أن توصف الملوثات التي تنتقل بالتشتت، والانتشار، والامتزاز ، والتحلل الحيوي بالمعادلة التالية (Bear 1979):

$$R_d \partial C / \partial t = D_z \partial^2 C / \partial z^2 - u \partial C / \partial z - \lambda R_d C \quad (٤.١٢٢)$$

حيث إن:

C = التركيز.

t = الزمن.

z = الاحداثي الكارتيزي في الاتجاه الرأسي (الهبوط الموجب).

D_z = معامل التشتت في الاتجاه الرأسي.

u = سرعة الرشح في الاتجاه الرأسي.

λ = معامل التحلل أثناء الانتقال خلال المنطقة ذات التجويف.

R_d = معامل الإعاقة (التأخر).

وبهدف التبسيط، يفترض أن تكون تركيـزات الطـور الـصلب والـسائل عنـد المصدر في الحالة المستقرة، والتوزيـع بـين الطـورين يحكـم بخـط التـساوي الحـراري بالاتزان الخطى (Prakash 1996). وبالتالي:

$$S = M/(\rho_b D) = K_d C \quad (٤,١٢٣)$$

$$dM/dt = -(q+\lambda_1)C \quad (٤,١٢٤)$$

$$C = C_0 e^{-\nu t} \quad (٤,١٢٥)$$

$$\nu = -(q+\lambda_1)/(\rho_b D K_d) \quad (٤,١٢٦)$$

حيث إن:

S = كتلة المادة الملوثة الممتزة بالتربة لكل وحدة كتلة جافة (ظاهرية) من التربة.

M = كتلة المادة الملوثة الممتزة لكل وحدة مساحة سطح من المصدر.

ρ_b = الكثافة الجافة (الظاهرية) من التربة الملوثة.

D = عمق التربة الملوثة عند المصدر.

K_d = معامل توزيع ماء التربة.

q = متوسط معدل التسرب.

λ_1 = معامل الانحدار في التربة عند المصدر.

C_0 = تركيز الطور المائي عند المصدر عند زمن، t .

ν = معامل التحلل الكلي عند المصدر.

وبفرض أن منسوب الماء الأرضي عميق بشكل كافٍ، فإن الشروط الحدودية والأولية للمعادلة رقم (٤,١٢٢) هي:

$$C(0,t) = C_0 e^{-\nu t}, t \geq 0 \quad (٤,١٢٧أ)$$

$$C(\alpha,t) = 0, t \geq 0 \quad (٤,١٢٧ب)$$

$$C(z,0) = 0, z \geq 0 \quad (٤,١٢٧ج)$$

وباستخدام تحويلات لابلاك Laplace ومعكوساتها، فإن حل المعادلة رقم (٤,١٢٢) يكون كالتالي (Carslaw and Jaerger 1984; USEPA 1985):

$$C(z,t)=C_0/2\exp\left\{\left[uz/(2D_z)\right]-\nu t\right\}\left[e^{-2AB}\mathrm{erfc}\left\{-A\sqrt{t}+B/\sqrt{t}\right\}+e^{2AB}\mathrm{erfc}\left\{A\sqrt{t}+B/\sqrt{t}\right\}\right] \quad (٤,١٢٨)$$

حيث إن:

$C(z,t)$ = التركيز عند z، وزمن t.

$A=\sqrt{\left[\lambda+u^2/(4D_zR_d)-\nu\right]}$

$B=(z/2)\sqrt{(R_d/D_z)}$

وتتضمن المعادلة رقم (٤,١٢٨) نواتج دوال الخطأ الأسية والمتتامة للإزاحات الزاوية، والتي يمكن أن تكون حقيقية أو معقدة. إذا كانت الإزاحات الأسية معقدة، فيمكن أن يتم الحصول على قيمها كما هو موضح في (Prakash 2000a) أو عن طريق دوال الخطأ لارتفاع المنسوب للإزاحة الأسية المعقدة (Abramowitz and Stegun 1972).

ولانطلاق نهائي الوقت للمواد الملوثة من المصدر، يمكن استخدام التراكم الخطي. وبالتالي يكون:

$$C(z,t,t_0)=P(z,t),0\le t\le t_0 \quad (٤,١٢٩)$$

$$C(z,t,t_0)=P(z,t)-P(z,t-t_0)\exp(-\nu t_0),-t\ge t_0 \quad (٤,١٣٠)$$

حيث إن:

t_0 = الزمن الذي يتم عنده معالجة المصدر.

$P(z,t)$ هو نفس $C(z,t)$ المعطى بالمعادلة رقم (٤,١٢٨).

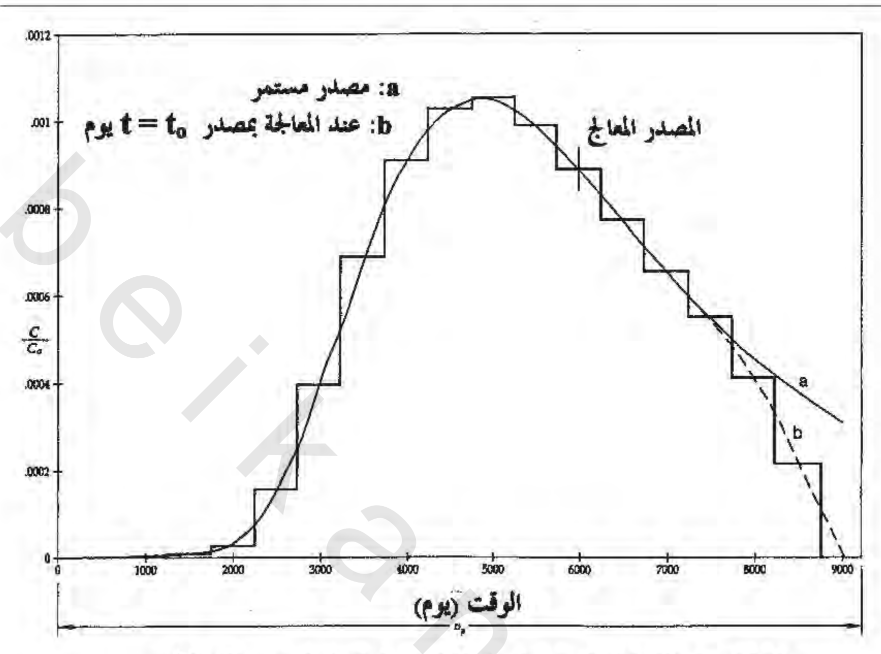
وتعطى المعادلات رقم (٤,١٢٨)، ورقم (٤,١٢٩)، ورقم (٤,١٣٠) التمثيل البياني لتركيز الملوثات التي تصل سطح الماء الأرضي، كما هو مبين في الشكل رقم

obeikandi.com

(٤,٤). والتمثيل البياني للملوثات تكـون المـصدر لانتقـال الملوثـات خـلال المنطقـة المشبعة. وبهدف التيسير الحسابي، يـتم تقريـب تلـك التمثـيلات البيانيـة للملوثـات بنبضات متعاقبة مستطيلة الشكل للتركيزات الثابتة والفترات النهائية (المحدودة) Δt، (الشكل رقم ٤,٤).

بعد الدخول في المنطقـة المـشبعة، فـإن انتقـال الملوثـات القابلـة للامتـزاج إلى المستقبل، يحكم بالانتقال في الاتجاه الأفقي والانتشار والامتزاز والتحلل وإعادة الملء لماء المطر العذب نسبياً على طول مسار الانتقـال. وفي غالبيـة الحـالات الميدانيـة، فـإن درجة انحدار المياه الجوفية تكون في اتجاه المستقبل ويمكن أن يعامل انتقال الحـرارة في الاتجاه الأفقي على أنه أحادى البعد. في هذه الحالات، يمكن تحليـل انتقـال الملوثـات باستخدام نموذج MULTIMED (USEPA 1966b) أو نماذج أخـرى شـبيهة. ولـشروط سريان المياه الجوفية الأكثر تعقيداً، يمكن أن يكـون ضروريـاً محاكـاة الـسريان ثلاثـي البعـد والانتقـال. ويـستخدم نمـوذج MULTIMED لتكـوين تمثيـل بيـاني لتركيـزات الملوثات التي تصل المستقبل بسبب الفترة المحدودة (Δt) ونبـضة تركيـز الوحـدة. إن استخدام التمثيل البياني للمواد الملوثة مثل دالة النواة، $C(L, \Delta t, t)$، ونبضات التركيـز الثابت مثل دالة الدخل، $V(\Delta t, t)$، والتمثيلات البيانية لتركيـز الملوثـات التـي تـصل المستقبل بسبب الانطلاقات المستمرة أو محددة الـزمن مـن المـصدر يـتم حـسابها مـن اللف. وتعتبر، L = مسافة المستقبل الأفقيـة مـن المـصدر. والمعادلـة التاليـة منفـصلة وموافقة حسابياً من عملية اللف (Prakash 2000a):

$$Q(L,t) = \sum C\left[L, \Delta t, t-(i-1)\Delta t\right] \cdot V(\Delta t, i\Delta t) \quad (٤,١٣١)$$



الشكل رقم (٤,٤). التمثيل البياني للتلوث الواصل لمستوى الماء الأرضي.

حيث إن:

$\sum$ المجموع من $i = 1$ إلى $j \leq n$.

$Q(L, t)$ = الإحداث الأسى للتمثيل البياني للمواد الملوثة التي تصل المستقبل عند مسافة L، من المصدر عند زمن t.

j (عدد صحيح) = $t / \Delta t$.

n (عدد صحيح) = $B_P / \Delta t$.

Δt = المدة الزمنية المحددة المختارة للنبضات المستطيلة وللف.

B_P = قاعدة زمن التمثيل البياني للمواد الملوثة التي تصل منسوب الماء الأرضي (الشكل رقم ٤,٤).

انتقال الطور الغازي Gas Phase Transport

انتقال الطور الغازي للكيماويات العضوية الطيارة من المصدر إلى سطح الماء الأرضي خلال المنطقة ذات التجاويف يمكن أن تحلل بفرض أن الانتشار الغازي يكون رأسياً بشكل سائد. فإذا كان المصدر يقع عند $x = -a$ إلى $x = a$ ومتصف المسافة يقع عند مسافة، a_0، تحت سطح الأرض (الصماء وغير المنفذة للانتشار الغازي) وعند مسافة b_0 فوق سطح الماء الأرضي (الشكل رقم ٤,٥)، إذن باستخدام طريقة الصور (Carslaw and Jaeger 1984):

$$C(x,t) = (C_0/2)\Big[\operatorname{erf}\left\{(a-x)/\sqrt{(4D_d t)}\right\} + \operatorname{erf}\left\{(a+x)/\sqrt{(4D_d t)}\right\} + \operatorname{erf}\left\{(a-(x-2a_0))/\sqrt{(4D_d t)}\right\} + \operatorname{erf}\left\{(a+(x-2a_0))/\sqrt{(4D_d t)}\right\} + \operatorname{erf}\left\{(a-(x+2b_0))/\sqrt{(4D_d t)}\right\} + \operatorname{erf}\left\{(a+(x+2b_0))/\sqrt{(4D_d t)}\right\}\Big] \quad (٤,١٣٢)$$

حيث إن:

D_d = معامل انتشار الطور الغازي الفعال للكيماويات العضوية الطيارة في المنطقة ذات التجاويف. ويمكن تقدير معامل انتشار الطور الغازي الفعال عن طريق:

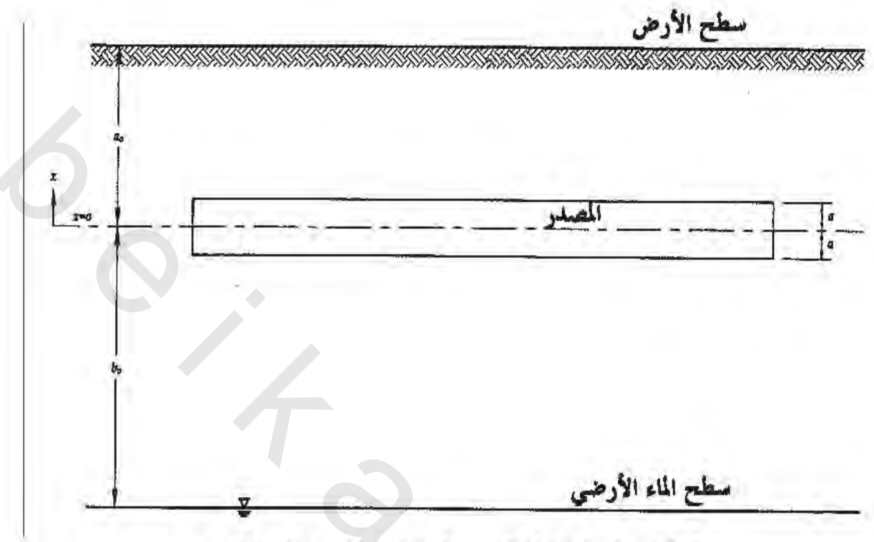
$$D_d = D_b \phi_a T_a \quad (٤,١٣٣)$$

حيث إن:

D_b = معامل انتشار الهواء الحر.

ϕ_a = معامل النفاذية الممتلئة بالغاز.

T_a = الاضطرابية.



الشكل رقم (٤,٥). الرسم التخطيطي للانتشار الغازي.

ويمكن الحصول على قيم معامل انتشار الهواء الحر للغازات المختلفة أو الكيماويات العضوية الطيارة من جداول خاصة (مثل، Weast 1987; IPCB 2001; Lyman *et al.* 1984). ويمكن تقدير الاضطرابية بالمعادلة التالية (Baeher 1987; Pankow and Cherry 1996):

$$T_a = \phi_a^{7/3} / \phi^2 \quad (٤,١٣٤)$$

حيث ϕ = النفاذية الكلية.

ويمكن إجراء حسابات المعادلة رقم (٤,١٣٢) باستخدام ورقة العمل (مثلا، برنامج الإكسل).

مثال رقم (٤,٢٢): احسب تركيز الغاز لإيثيلين الكلور الثلاثي على عمق ٢٠ م أسفل سطح الأرض المرصوف عند t تساوي ١٨٠ يوم بسبب مصدر يقع على بعد ٥ إلى ٧ م

تحت سطح الأرض. ويقع منسوب الماء الأرضي على بعد ٦٦ م أسفل سطح الأرض. تركيز إيثيلين الكلور الثلاثي الغازي عند المصدر ١٠٠٠٠ ملجم/ ل عند الزمن الحالي t يساوي صفر. ومعامل انتشار الهواء الحر لإيثلين الكلور الثلاثي D_b يساوى ٧١٠٠ سم٢/ اليوم، والنفاذية الكلية للوسط المسامي ϕ تساوي ٠,٣٠، والنفاذية الممتلئة بالغاز أو المحتوى الحجمي لإيثيلين الكلور الثلاثي لكل وحدة حجم من التربة ϕ_a تساوي ٠,٢٥.

الحل:

باستخدام المعادلات العملية لتقدير الاضطرابية ومعامل الانتشار الفعال نحسب اضطرابية الطور الغازي T_a (Baeher 1987; Pankow and Cherry 1996):

$$T_a = \phi_a^{2.333} / \phi^2 = 0.25^{2.333} / (0.3 \times 0.3) = 0.4375$$

معامل الانتشار الفعال لإيثيلين الكلور الثلاثي:

$$D_d = D_b \phi_a T_a = 7100 \times 0.25 \times 0.4375 = 777 cm^2 / day = 0.0777 m^2 / day$$

وأيضاً:

$$x = -(20-6) = -14 \, m \quad ; \quad a = (7-5)/2 = 1 \, m$$

$$a_0 = 5+1 = 6 \, m \quad ; \quad b_0 = 66-6 = 60 \, m$$

إذا:

$$a - x = 1+14 = 15 \quad ; \quad a + x = 1\text{-}14 = \text{-}13$$

$$a - x + 2a_0 = 1+14+12 = 27 \quad ; \quad a + x - 2a_0 = 1-14-12 = -25$$

$$a - x - 2b_0 = 1+14-120 = -105 \quad ; \quad a + x + 2b_0 = 1-14+120 = 107$$

$$(a-x)/\sqrt{(4D_d t)} = 2.00$$

$$(a+x)/\sqrt{(4D_d t)} = (1-14)/\sqrt{(4 \times 0.0777 \times 180)} = -13/7.4796 = -1.738$$

$$(a-x+2a_0)/\sqrt{(4D_d t)}=3.6096$$
$$(a+x-2a_0)/\sqrt{(4D_d t)}=-3.342$$
$$(a-x-2b_0)/\sqrt{(4D_d t)}=-14.037$$
$$(a+x+2b_0)/\sqrt{(4D_d t)}=14.305$$

وباستخدام المعادلة رقم (٤,١٣٢) وقيم $erf(x)$ من جداول دوال الخطأ (أو دوال الأكسل):

$$C\ (x,t)=(10000/2)[0.9954-0.9860+1.0-0.999998-1+1]$$
$$=0.0094\times5000=47.0\ \text{mg/L}$$

لاحظ أن الحدين الأخيرين كلاهما يقترب من ١ ويلغيان. إذا كان منسوب الماء الأرضي عميق جداً (كما في المثال)، فإن الحدين الأخيرين من المعادلة رقم (٤,١٣٢) يمكن إهمالها.

تستخدم آبار استخراج البخار لقياس ومعالجة تلوث غاز التربة، أنصاف الأقطار النموذجية لآبار استخراج البخار تتراوح من حوالي ١,٢٧ إلى ٥ سم. ونصف قطر التأثير يتراوح من ٩ إلى ٣٠ م اعتماداً على ظروف التربة. وهو أصغر في التربة الرملية وأكبر في تكوينات الطمي والطين. ويمكن تقدير معدل استخراج البخار بالمعادلة التالية (Johnson *et al.* 1990):

$$Q=[\pi kB/\mu]\left[P_a^2-(P_a-P_w)^2\right]/\left[(P_a-P_w)\ln(R/r_w)\right] \quad (٤,١٣٥)$$

حيث إن:

Q = معدل استخراج البخار (سم^٣/ ث).

k = سماح التربة بسريان الغاز (سم^٢).

μ = اللزوجة الديناميكية للغاز (جم.سم/ ث).

B = سمك منطقة السماح أو ارتفاع الحواجز مهما تكن صغيرة (سم).

obeikandl.com

P_a = ضغط الغلاف الجوى (حوالي $1.01\times10^6 gm.cm/s^2$).

P_w = الضغط عند البئر الناتج من ضخ البخار (جم.سم/ ث٢).

r_w = نصف قطر البئر.

R = نصف قطر التأثير.

مثال رقم (٤,٢٣): احسب كمية غاز التربة الذي يمكن استخراجه من بئر استخراج بخار نصف قطره ٥ سم ومصفاة بطول ١ م. ضخ البخار قادر على تكوين ضغط مطلق قدره ٠,٥١×١٠٦ جم.سم/ ث٢ عند سطح البئر. بفرض أن:

$\mu = 1.9\times10^{-4}$ gm.cm/s ; $k = 10^{-6}$ cm^2

$P_a = 1.01\times10^6$ gm.cm/s^2 ; $R = 9$ m

الحل:

عند سطح البئر B تساوي ١٠٠ سم.

$$(P_a - P_w) = (1.01 - 0.51)\times10^6 = 0.50\times10^6 \text{ gm.cm/s}^2$$

باستخدام المعادلة رقم (٤,١٣٥):

$$Q = \left[\pi\times10^6\times100\left(1.01^2 - 0.5^2\right)\times10^6\right] / \left[\left(1.9\times10^{-4}\right)\times0.5\times\ln(9/0.025)\right]$$
$$= 43.27\times10^4 \text{cm}^3/\text{s} = 433 \text{ L/s}$$

تركيب آبار المراقبة Monitoring Well Installation

تتطلب آبار المراقبة تسجيل مستويات المياه الجوفية وجمع العينات من المياه الجوفية لتحليل جودة المياه. وبالإضافة، لتجميع عينات من التربة أثناء الحفر. يمكن أن يكون بئر المراقبة بئراً منفرداً أو زوجين من الآبار المركبة في نفس ثقب الحفر (بئر

obeikandl.com

المراقبة المتداخل)، وتحجز كل منها تكوينات مختلفة أو أعماق مختلفة في نفس التكوين. وتشمل المواصفات العامة لتركيب آبار المراقبة التالي:

١- الحفر: تحفر ثقوب بئر المراقبة باستخدام المركبة المثبت فيها أجهزة الحفر أو معدات أخرى ملائمة لها ساعد (قصبة) مجوف يوافق الأقطار الداخلية التي تبلغ ١١سم (٤,٢٥ بوصة) للبئر المنفرد و ٣٠,٥سم (١٢ بوصة) للآبار المتداخلة. وتجمع عينات التربة كل عمق ١,٥ م (٥ قدم) باستخدام ملعقة زوجية قطرها ٥سم (٢بوصة) لأخذ العينات. يمكن أن تختلف الأعماق والأحجام اعتماداً على متطلبات خاصة في مواقع معينة. ويتم تسجيل الخصائص الفيزيائية لعينات التربة في سجلات الثقب، وتشمل تلك الخصائص الفيزيائية: اللون، وتصنيفات الحجم المرئي (مثل، ناعم، وسط، خشن)، والرطوبة (مثل، جاف، رطب، رطب جداً)، وتعدادات الانصهار، وقراءات عداد التأين الضوئي للكيماويات العضوية الطيارة، والرائحة. ويتم حفظ جزء من كل عينة من التربة وترسل إلى المختبر لتحليل وجود الملوثات موضع الاهتمام وتوزيع حجم الحبيبات.

٢- **غلاف بئر المراقبة والمصفاة ومجموعة المرشحات وسدادة الإحكام**: يتم تركيب غلاف آبار المراقبة باستخدام أنبوبة بولي فينيل ٤٠ قطرها ٥ سم (٢ بوصة) وتمتد من قاع ثقب الحفر إلى حوالي ١ م فوق سطح الأرض. وللمصفاة نفس قطر ومادة الغلاف. ويمكن أن يختلف كل من قطر ومادة الغلاف والمصفاة اعتماداً على ظروف الموقع، والأحوال الاقتصادية والغرض. ويتم حساب الطول اعتماداً على سمك الطبقات الحاملة للمياه التي تصادف أثناء الحفر. يملأ الفاصل الحلقي بين ثقب الحفر ومصفاة البئر برمل نظيف وحصى ناعم، يسمى مجموعة المرشحات. وتمتد مجموعة المرشحات إلى حوالي ١ م أبعد من قمة وقاع مصفاة البئر. يصمم تدرج

مجموعة المرشحات لاحتجاز حوالي ٧٠٪ من جزيئات تربة التكوين، ويتم عمل أحجام فتحات المصفاة لاحتجاز حوالي ٩٠٪ من مجموعة المرشحات. والأحجام الأكثر شيوعاً في الاستخدام بالنسبة لفتحات المصفاة هي ٠,٢٥ إلى ٠,٥٠ مم (٠,٠١ إلى ٠,٠٢ بوصة). ويتم عمل سدادات من كريات البنتونايت بسمك حوالي ١ م فوق مجموعة المرشحات. وفي حالة الآبار المتداخلة، يتم عمل سدادة كرية البنتونايت في الطول الداخلي بين قمة مجموعة المرشحات للبئر العميق وقاع مجموعة المرشحات في البئر الضحل وبطول حوالي ١ م فوق مجموعة المرشحات للبئر الضحل. يملأ التباعد الحلقي من سطح الأرض إلى قمة سدادة كرية البنتونايت بمخلوط الأسمنت- البنتونايت وتكون نسبة الأسمنت إلى البنتونايت ١٩:١ من الوزن. ويمكن أن يتغير المخلوط اعتماداً على ظروف موقع معينة.

٣- **تطوير البئر والتطهير وأخذ العينات:** تطور آبار المراقبة باستخدام مضخات قابلة للغطس حتى يصبح الماء الذي يتم ضخه خالياً من الرواسب. ويتم تسجيل مستويات المياه وتركيز أيون الهيدروجين PH والموصلية النوعية والحرارة أثناء تطوير البئر. ويجب تطهير البئر قبل كل عملية أخذ عينة. ويجب أن يستمر التطهير إلى أن يتم إزالة حجم الماء المكافئ لأدنى حد من غلاف ثلاث آبار. بعد التطهير، يجب السماح لمستوى الماء في البئر بالعودة إلى حالته الأصلية. ويتم جمع عينات جودة المياه باستخدام أنابيب البولي إيثيلين التصريفية. يمكن قياس التوصيل النوعي وتركيز أيون الهيدروجين PH و الأكسجين المذاب ودرجة حرارة المياه الجوفية في موقع العمل. تخزن عينات جودة المياه المستعادة في أوعية يحكم إغلاقها وتنقل إلى المختبرات المختصة لتحليلها.

٤- **إزالة التلوث والتخلص من النفايات:** يجب أن يتم تنظيف أجهزة الحفر وأنصال الثقب وملاعق جمع العينات الزوجية ومعدات التربة الأخرى بالبخار قبل استخدامها وتشطف مرتين بالماء المتدفق وبالنهاية تشطف بالماء المقطر. ويجب أن يتم جمع قطع الحفر والمخلفات السائلة بما فيها مياه تطوير البئر لأجل التخلص المناسب منها.

٥- **معاينة البئر:** يجب أن يتم معاينة ارتفاعات ومواقع قمة غلاف آبار المراقبة وأن توصل بحالة ملائمة أو إحداثيات خطة أخرى على خرائط الموقع ويحتفظ بها مع سجلات بئر المراقبة الأخرى.

نماذج سريان وانتقال المياه الجوفية
Groundwater Flow and Transport Models

فيما يلي بعض نماذج سريان وانتقال المياه الجوفية الأكثر شيوعاً في المجال العام:

• **نموذج الفرق النهائي لسريان المياه الجوفية ثلاثي الأبعاد المعياري، MODFLOW (USGS 2000b):** يحاكي هذا النموذج سريان المياه الجوفية المستقر والبيئي ثلاثي الأبعاد. ويتكون تركيبه المعياري من برنامج أساسي وسلسلة من الطرق الفرعية، والتي تسمى وحدات القياس. وينقسم مجال سريان المياه الجوفية إلى شبكات وسدود من الشبكات التي تمثل التدفق وعدم التدفق والضاغط الثابت والنهر والمصرف والبركة وحد التدفق والبئر وإعادة الملء والرشح البخاري والطبقات التي تمثل التكوينات المختلفة. يمكن أن تشبه الطبقات بالمحصورة أو غير المحصورة أو اتحاد الاثنين. MODFLOW هو نموذج متعدد الاستعمال ويمكن أن يستخدم لأنواع مختلفة من دراسات المياه الجوفية، بما فيها تقييم مصدر المياه وانتقال الملوثات المحتمل في نطاق إقليمي أو محلي.

• **شفرة تحديد مساحة حماية ضاغط البئر WHPA** (USEPA 1993): وهو نموذج محاكاة سريان المياه الجوفية شبه التحليلي لتحديد مساحة مناطق الاحتجاز في مساحة حماية ضاغط البئر. وهو يقبل التطبيق في طبقات الماء الأرضية المتجانسة والمحصورة وغير المحصورة وشبه المحصورة التي تظهر سريان المياه الجوفية المستقرة ثنائية الأبعاد في خطة مساحية. ويمكن أن تحاكى الحاجز أو حدود البخار التي تخترق العمق الكلي لطبقة الماء الأرضي ويمكن أن تأخذ في الحسبان الضخ المتعدد وآبار الحقن.

• **التقييم الهيدروليجي لأداء الأرض المشبعة HELP** (USEPA 1995): وهو نموذج شبه ثنائي الأبعاد يستخدم لإجراء تحليل توازن الماء في الأرض المشبعة وأنظمة التغطية ومباني مخلفات التربة الملوثة الأخرى. وهو يتطلب وجود بيانات مناخية وبيانات عن التربة والتصميم. يتم بناء كمية مهمة من البيانات المناخية وبيانات عن التربة في النموذج نفسه. ويمكن محاكاة توازن المياه لأنظمة الأرض المشبعة مع أنواع مختلفة من أغطية التربة والأغطية النباتية وطبقات الصرف الجانبية وحدود التربة المسموحة المنخفضة والغشاء الجيولوجي. وتشمل المخرجات كميات من الجريان السطحي والتبخير والصرف وجمع المياه المنصرفة من الأرض المشبعة والتسرب الخطى من الأنواع المختلفة لتصميمات الأرض المشبعة.

• **نموذج تقييم عداد التعريض متعدد الأوساط (MULTIMED) لتقييم التخلص الأرضي من المخلفات** (USEPA 1996b): يحاكى هذا النموذج حركة الملوثات في سريان المياه الجوفية أحادى البعد مع التشتت ثلاثي الأبعاد والتراجع وتحلل من الدرجة الأولى والتخفيف بسبب الترشيح المباشر في المياه الجوفية. هذا النموذج صديق للمستخدم وتشمل أنظمة برامج الحاسب التفاعلية السابقة والتالية. وتشمل المخرجات تركيزات الملوثات التي تصل مستقبل معين تحت ظروف الحالة المستقرة أو

بعد فترات زمنية محددة التي تنطلق من المسار المستطيل أو المصدر الجاوسي. يحدد مسار المصدر المستطيل بعرض وعمق محدد. لدى المصدر الجاوسي توزيعاً أسياً على طول العرض ومنتظم على العمق. ويمكن أن يكون التركيز ثابت عند المصدر (الحالة المستقرة)، أو نبضة تركيز ثابتة بمدة محددة أو نبضة تتحلل أسياً مع مرور الزمن.

• **التصوير الحيوي** (USEPA 1997): التصوير الحيوي هو نموذج تصوير يحاكى المعالجة من خلال التخفيف الطبيعي للهيدروكربون المذاب في مواقع إطلاق البترول. وهو مبرمج في برنامج الاكسل ويعتمد على نموذج دومينيكو التحليلي لانتقال المذاب. ويمكنه أن يحاكى انتقال الحرارة الأفقي والتشتت والامتزاز والتحلل الهوائي والتفاعلات الغير هوائية. وتشمل الحزمة ثلاثة نماذج، انتقال المذاب دون تحلل، مع التفسخ الحيوي المشكل كعملية تحلل من الدرجة الأولى، ومع التفسخ الحيوي المشكل كتفاعل تفسخ حيوي لحظي.

• **نموذج الانتقال المعياري ثلاثي الأبعاد لمحاكاة الانتقال الحراري الأفقي والتشتت والتفاعلات الكيميائية للمواد الملوثة في أنظمة المياه الجوفية، MT3D** (USEPA 1992): يستخدم هذا النموذج تركيباً معيارياً شبيهاً بنموذج الفرق النهائي لسريان المياه الجوفية ثلاثي الأبعاد المعياري (MODFLOW (USGS 2000b. ويمكن أن يستخدم مع أي ازدحام في المنتصف، نموذج الفرق النهائي لسريان المياه الجوفية مثل نموذج الفرق النهائي لسريان المياه الجوفية ثلاثي الأبعاد المعياري مثل MODFLOW. وهو يستعيد الضواغط الهيدروليكية والتدفقات المختلفة وحدود المصدر/ الحوض المحفوظة في نموذج سريان المياه الجوفية وتندمج آلياً في شروط الحد الهيدروليجي المحددة. ويمكن أن يستخدم لمحاكاة تركيزات ملوثات الأنواع الأحادية القابلة للامتزاج في المياه الجوفية مع الأخذ في الاعتبار الانتقال الحراري في اتجاه أفقي

والتشتت وبعض التفاعلات الكيميائية البسيطة. التفاعلات الكيميائية المشتملة في النموذج تكون في امتزاز خطي أو غير خطي وتحلل من الدرجة الأولى أو تفسخ حيوي. هذا النموذج معقد بعض الشيء، والمشروعات التي تتضمن استخدام هذا النموذج يجب أن يتم أداءها على أنها دراسات خاصة.

openikandl.com

التصاميم الهيدروليكية
HYDRAULIC DESIGNS

مقدمة Introduction

لابد أن يقوم مهندسي مصادر المياه بتطوير التصميمات الأولية والمبدئية للتصميمات الهيدروليكية. وتمثل تلك التصميمات أساس تجهيز التصميمات التفصيلية وخطط التعمير والرسومات والمواصفات وتقييمات التكلفة. لأن التصميمات التفصيلية قد تشمل التصميمات الإنشائية والتحليل الجيولوجي الفني للمكونات المتعددة للإنشاءات الهيدروليكية.

إن هذا الفصل يقدم طرق تجهيز التصميمات الهيدروليكية للإنشاءات التي يتعامل بها معظم مهندسي مصادر المياه. إن تلك الإنشاءات تتمثل في انتقالات القناة ومعايير الحماية من الفيضان والانجراف، وإنشاءات التنقيط والسدود والخزانات وقنوات تصريف فائض المياه والمكونات الهيدروليكية لمصنع القدرة المائية.

انتقالات القناة Channel Transitions

وهي تعتبر ضرورية من أجل إتاحة عمليات التمدد والانكماش لقطاعات الانسياب عندما يكون من الضروري مرور القناة عبر المناطق الضيقة (مثل فتحات

obeikandi.com

الكباري، المناطق المحددة بجدران الفيضان). وفيما يلي القواعد العامة لتصميمات انتقالات القناة للانسياب الفرعي (USDA 1977):

١- يجب أن ينتقل سطح الماء بنعومة من أجل التوافق مع الظروف الهيدروليكية في بداية ونهاية الانتقال.

٢- لا يجب أن تتغير حافة سطح الماء عند أي جانب من جوانب المسار في حالة التشعب بزاوية تزيد عن ١٤ درجة مع اتجاه السريان أو بزاوية تزيد عن ١٢,٥ درجة في حالة التلاقي. وهذا يعني أن قطاع القناة الكلي لا يجب أن يتغير اتجاهه بدرجة أكبر من ٢٨ درجة في حالة التشعب ولا يجب أن يتغير اتجاهه بدرجة أكبر من ٢٥ درجة في حالة التلاقي.

٣- يجب أن يكون الفاقد عبر الانتقال أقل ما يمكن. ولتقليل فاقد الاحتكاك يجب أن لا يتعدى الفاقد عبر الانتقال 0.10 hv خلال الضيق، و 0.20 hv خلال الاتساع، حيث إن hv هي ضاغط السرعة المعتمدة على متوسط السرعة من خلال عملية الانتقال.

٤- يجب أن يتفق ميل القاع والجوانب مع الظروف النهائية بشكل مماسي.

بإهمال الفاقد نتيجة الاحتكاك فإن حفظ الطاقة عبر الانتقال يكون:

$$y_1 + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = y_2 + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_L \qquad (\text{٥,١ أ})$$

أو

$$WS_1 + \frac{v_1^2}{2g} = WS_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_L \qquad (\text{٥,١ ب})$$

حيث إن:

y_1 , y_2 = أعماق المياه.

z_1 , z_2 = مناسيب القاع.

v_1 , v_2 = السرعات.

WS_1 , WS_2 = ارتفاع سطح المياه عند نهاية المسارات الداخلة والخارجة للانتقال.

g = عجلة الجاذبية.

h_L = الفاقد عبر الانتقال نتيجة لتغير شكل خطوط السريان.

في الانتقالات القصيرة نسبياً، يكون فاقد الاحتكاك عادة صغير بالمقارنة مع الفاقد نتيجة الضيق والاتساع وبالتالي يمكن تجاهله.

لذلك:

$$WS_1 - WS_2 = \Delta WS = \frac{\left(v_2^{\,2} - v_1^{\,2}\right)}{2g} + h_L \qquad (٥,٢\text{أ})$$

أيضاً:

للضيق $h_L = C_c \dfrac{\left(v_2^{\,2} - v_1^{\,2}\right)}{2g}$

للاتساع $h_L = C_e \dfrac{\left(v_2^{\,2} - v_1^{\,2}\right)}{2g}$

حيث إن: $C_c \cong 0.15$ و $C_e \cong 0.25$

للضيق تكون $v_1 \prec v_2$ ، ΔWS موجبة أي $WS_1 \succ WS_2$

وللاتساع تكون $v_1 \succ v_2$ ، ΔWS سالبة أي $WS_1 \prec WS_2$

وبالتالي فإن:

للضيق

$$WS_1 - WS_2 = \Delta\, WS = 1.15\, \frac{\left(v_2^{\,2} - v_1^{\,2}\right)}{2g} \qquad (٥,٢\text{ ب})$$

للاتساع

$$WS_1 - WS_2 = \Delta\, WS = -\,0.75\, \frac{\left(v_1^{\,2} - v_2^{\,2}\right)}{2g} \qquad (٥,٢\text{ ج})$$

معادلات الطاقة التي تم ذكرها بأعلى يمكن تطبيقها أيضاً على تصميم قطاعات القنوات الخطية المحددة بالخرسانة ما عدا أنه يمكن استخدام الانتقالات الأكثر حدة. إن زاوية نقطة الالتقاء بالنسبة لأي جانب من القناة الخطية لا يجب أن تتعدي ٣٠ درجة وبالنسبة لتلك القابلة للانحراف فإنها لا يجب أن تتعدي ٢٢,٥ درجة.

مثال رقم (٥,١): عند تصميم انتقال ذو انكماش (ضيق) بين جزئيين من القناة فإن القناة المنحدرة لأعلى تعتبر قناة شرقية ذات n = ٠,٠٢٥ وميل القاع ٠,٠٠٢ وميول الجوانب ٢ أفقي: ١رأسي، وعرض القاع = ١٠ م. وبالنسبة للقناه المنحدرة لأسفل فإن قيمة n = ٠,٠٣٨ وميول الجوانب ٢ أفقي:١ رأسي، وميل القاع = ٠,٠١ وعرض القاع = ٦ م. وإن التصرف التصميمي = ١٢,٢٥ م³/ ث.

الحل:

بالنسبة للقناه المنحدرة لأعلى، فإن معادلة مانتق تكون كالتالي:

$$12.25 = \frac{1}{0.025} \times \left[\frac{\left(10\,y_1 + 2\,y_1^{\,2}\right)}{\left(10 + 2\left(\sqrt{5}\right)y_1\right)}\right]^{2/3} \times \left(10\,y_1 + 2\,y_1^{\,2}\right) \times \sqrt{0.002}$$

بالتجربة والخطأ، نجد أن:

$y_1 = 0.777\ \text{m}$ ، $A_1 = 8.977\ \text{m}^2$ ، $P_1 = 13.475\ \text{m}$

$R_1 = 0.666\ \text{m}$ ، $v_1 = 1.3645\ \text{m/s}$

بالنسبة للقناه المنحدرة لأسفل:

$$12.25 = \frac{1}{0.038} \times \left[\frac{\left(6\,y_2 + 2\,y_2^{\,2}\right)}{\left(6 + 2\left(\sqrt{5}\right)y_2\right)}\right]^{2/3} \times \left(6\,y_2 + 2\,y_2^{\,2}\right) \times \sqrt{0.01}$$

بالتجربة والخطأ، نجد أن:

$y_2 = 0.8165\ \text{m}$ ، $A_2 = 6.2323\ \text{m}^2$ ، $P_2 = 9.6515\ \text{m}$

$R_2 = 0.6457\ m$ ، $v_2 = 1.966\ m/s$

فتكون:

$$\Delta WS = 1.15\frac{\left(1.996^2 - 1.3645^2\right)}{2g} = 0.1244\ m$$

إن التغيير المطلوب في منسوب القاع من المقطع ١ إلى المقطع ٢ يكون يعطى بالمعادلة:

$$\Delta WS = \left(y_1 + z_1\right) - \left(y_2 + z_2\right)$$

أو

$$\left(z_1 - z_2\right) = \Delta WS - \left(y_1 - y_2\right) = 0.1244 - \left(0.777 - 0.8165\right) = 0.1639\ m$$

قاع القناة في المقطع ٢ يجب أن يكون أقل عن القاع في المقطع ١ بمقدار ١,٦٤ م.

العرض العلوي للقناه المنحدرة لأعلى

$$T_1 = 10 + 2 \times 0.777 = 11.554\ m$$

العرض العلوي للقناه المنحدرة لأسفل

$$T_2 = 6 + 2 \times 0.8165 = 7.653\ m$$

باستخدام نقطة التقاء ٤:١ أو زاوية نقطة التقاء تساوي ١٤ درجة على أحد الجوانب، يكون طول الانتقال

$$L = \left[\frac{(11.554 - 7.633)}{2}\right]\cot 14^\circ = 7.84\ m$$

هناك طريقة مختلفة قليلاً عن تصميم انتقالات القناة وقد تم توضيحها في المثال رقم (٥,٢).

مثال رقم (٥,٢): قناة على شكل شبه منحرف يجب أن يتم إقامتها لقناة خرسانية مستطيلة من أجل المرور عبر نهر صغير، فإذا كان طول القطاع المستطيل ١٥٠ م. وبعد

openkanal.com

ذلك، فانه يجب أن يمتد ليصل لنفس قطاع القناة شبه المنحرف. فإذا كان تصرف القناة ٣٠ م٣/ ث. وأن منسوب قاع القناة على جانب القناة المنحدرة لأسفل للانتقال هو ١٠٠٠ م. والأبعاد الأخرى المتعلقة بذلك تكون كالتالي: بالنسبة للقناه على شكل شبة المنحرف، B_1 = ٢٢ م، وميول الجوانب تساوي ٢ أفقي: ١ رأسي. وللقناه المستطيلة B_2 = ١١ م، انتقال الضيق يساوي ٢,٥ : ١ (زاوية الضيق = ٢١,٨ درجة)، وانتقال الاتساع يساوي ٣ : ١ (زاوية الاتساع = ١٨,٤ درجة). صمم المسيل اللازم للحفاظ على عمق المياه عبر الانتقال عند ١,٧ م. وبافتراض أن معاملات فاقد الاتساع والضيق تساوي ٠,٢ و ٠,٣ على الترتيب ومعامل مانتق للقناه الخرسانية يساوي ٠,٠١٥.

الحل:

بالرجوع إلى الشكل رقم (٥,١).

فإن العرض العلوي عند المقطع ١ (T_1):

$$T_1 = 22 + 2 \times 1.7 = 25.4\ \text{m}$$

وهو يساوي العرض العلوي عند المقطع ٤ (T_4).

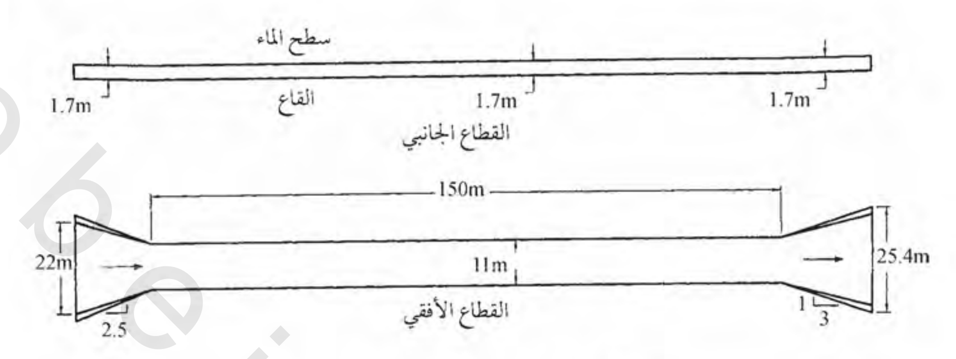
العرض العلوي عند المقطع ٢ (T_2) = العرض العلوي عند المقطع ٣ (T_3) = ١١ م.

انظر اتساع وضيق القناة في الشكل رقم (٥,١).

طول انتقال الضيق من شكل شبه المنحرف (المقطع ١) إلى المستطيل (المقطع ٢) يساوي

$$\{(25.4 - 11)/2\} \times 2.5 = 18\ \text{m}$$

انظر الشكل رقم (٥,١).



الشكل رقم (٥,١). اتساع وضيق القناة.

obeikandl.com

طول انتقال الاتساع من الشكل المستطيل (المقطع ٣) إلى شكل الشبه المنحرف (المقطع ٤) يساوي

$$\{(25.4-11)/2\}\times 3 = 21.6\ \text{m}$$

وبإهمال الفاقد نتيجة للاحتكاك عند تطبيق معادلة اتزان الطاقة الكلية في انتقال الاتساع على جانب الطريق المنحدر لأسفل بين المقطع ٤ و ٣

$$V_4 = \frac{Q}{A_4} = \frac{30}{(22\times 1.7 + 2\times 1.7^2)} = 0.695\ \text{m/s}$$

$$y_4 = 1.7\ \text{m}$$

$$V_3 = \frac{Q}{A_3} = \frac{30}{(11\times 1.7)} = 1.604\ \text{m/s}$$

$$y_3 = 1.7\ \text{m}$$

$$z_4 + y_4 + \frac{V_4^{\ 2}}{2g} + 0.3\ \left(\frac{V_3^{\ 2} - V_4^{\ 2}}{2g}\right) = z_3 + y_3 + \frac{V_3^{\ 2}}{2g}$$

$$1000 + 1.7 + \frac{0.695^2}{2\times 9.81} + 0.3\ \left(\frac{1.604^2 - 0.695^2}{2\times 9.81}\right) = z_3 + 1.7 + \frac{1.604^2}{2\times 9.81}$$

$$z_3 = 999.92544\ \text{m}$$

بالنسبة للقطاع المستطيل للمسيل فان:

$$y_2 = y_3 \quad , \quad R_2 = R_3 \quad , \quad V_2 = V_3$$

وباستخدام معادلة माننق لتقدير الفاقد نتيجة للاحتكاك في القناة الخرسانية المستطيلة لطول L = ١٥٠ م، ونصف قطر هيدروليكي

$$R_3 = \frac{A}{P} = \frac{(11\times1.7)}{(11+2\times1.7)} = 1.2986 \ \ m$$

فاقد الاحتكاك

$$h_f = \frac{V_3^{\ 2}\ n^2\ L}{R_3^{\ 4/3}} = \frac{1.604^2 \times 0.015^2 \times 150}{(1.2986)^{4/3}} = 0.06129\,m$$

وميل خط الطاقة (ميل الاحتكاك) S_f

$$S_f = \frac{0.06129}{150} = 0.0004086$$

إن التدفق عبر القطاع المستطيل منتظم $S_f = S_o$، حيث S_o ميل القاع.

منسوب القاع عند المقطع ٢

$$Z_2 = 999.92544 + 0.06129 = 999.98673\,m$$

بموازنة الطاقة عبر انتقال الضيق (الانكماش) من المقطع ٢ إلى ١ (مع إهمال الفاقد نتيجة الاحتكاك خلال الانتقال)

$$z_2 + y_2 + \frac{V_2^{\ 2}}{2g} + 0.2\ \left(\frac{V_2^{\ 2} - V_1^{\ 2}}{2g}\right) = z_1 + y_1 + \frac{V_1^{\ 2}}{2g}$$

إن الأبعاد عند المقاطع التي تتميز بشكل شبه منحرف ٤، ١ متماثلة. وبالتالي فإن

$$999.98673 + 1.7 + \frac{1.604^2}{2\times9.81} + 0.2\ \left(\frac{1.604^2 - 0.695^2}{2\times9.81}\right) = z_1 + 1.7 + \frac{0.695^2}{2\times9.81}$$

أذا

$$z_1 = 1000.11454\,m$$

إن التدفق يبدأ عند منسوب القاع يساوي ١٠٠٠,١١م وعند نهاية التيار المنحدر لأعلى يساوي ٩٩٩,٩٩م وعند بداية التيار المنحدر لأسفل يساوي ٩٩٩,٩٣م لقطاع الانتقال الاتساع، ويصل إلى ١٠٠٠م عند نهاية الطريق المنحدر لأسفل للضيق.

التحكم في الفيضان Flood Control

إن الطرق المستخدمة بشكل شائع للتحكم في الفيضان تشمل المعايير الإنشائية وغير الإنشائية، وهناك أمثله من المعايير الإنشائية للتحكم في الفيضان مثل السدود، وممرات الفيضان وأحواض الاحتجاز. أما المعايير غير الإنشائية فتشمل أقامة مستويات تنظيمية للفيضان، ومناطق الفيضان، ومستويات التحكم في إراقة وسريان المياه والتخطيط في حالة طوارئ الفيضان.

المعايير الإنشائية Structural Measures

السدود Levees: السدود هي امتدادات أرضية يتم بنائها بحيث تكون موازية تقريباً للمقطع المائي من أجل منع وصول المياه إلى المساحات الواسعة للأرض المحيطة بشواطئ المجرى. وهناك معايير أساسية لابد من أخذها في الاعتبار عند تصميم السدود وهي كالتالي:

• **الموقع**: إن المسافة بين السدود على كلا الجانبين للنهر أو المسافة الخاصة بالسد من خط النصف لنهر تعتمد على وجود الأرض. فإذا كانت الأرض متاحة أو يمكن الحصول عليها بدون مشاكل سياسية أو اقتصادية أو اجتماعية أو بيئية، فإن السدود يمكن أن يتم إقامتها على أرضيات مرتفعه أو سلاسل جبال أو مرتفعات وفيما غير ذلك لابد من اتخاذ معايير واحتياطات أخرى من أجل التحكم في الفضيان. وفي تلك

الحالات، لابد من محاذاة السدود من أجل حماية أو تجنب التفاصيل التاريخية والأثرية القديمة وغيرها من تفاصيل.

• **استقرار الميل**: يتم تصميم الحواجز على أنها سدود أرضية وبالتالي فإن ميول الجوانب لها تكون مستقرة تحت ظروف الجفاف وأيضا حينما تكون المياه المحتجزة لتصميم ارتفاع الفيضان على جانب النهر الذي يتميز بالجفاف أو حيث تكون مستويات المياه منخفضة على الأرض. إن ميل الجوانب للسدود عادة تختلف من ٢ أفقي: ١ رأسي إلى ٤ أفقي: ١ رأسي. وبالنسبة للانحدارات المستوية بشكل أكبر يجب أن تكون متاحة من أجل مواد إقامة السد التي تتميز بزوايا أصغر.

• **التسريب**: أثناء مراحل ارتفاع مستويات الفيضان، يحدث التسريب عبر قطاع السد وقد يؤدى ذلك إلى النقل عبر الأنابيب إذا لم يكن هناك معايير مناسبة للتحكم في التسريب، لذلك يجب اتخاذ المعايير المناسبة للتحكم في التسريب عند تصميم السد أو الحاجز. ومن الطرق الأكثر شيوعاً من أجل تحقيق ذلك تصميم الخنادق لجمع ونقل المياه المتسربة إلى روافد قريبة والآبار الأرضية والمرشحات المعكوسة.

• **المصارف الداخلية**: أن قمة الحواجز على طول القناة الأصلية قد يعيق الروافد والسريان الطبيعي فوق الأرض التي تدخل النهر عبر العديد من الطرق أو الممرات الخاصة بجرف النهر. وبالإضافة إلى ذلك التسريب من قناة النهر الأساسية قد يؤدى إلى احتجاز المياه إلى الجانب الأرضي من السد أو الحاجز. وإن معايير تصريف تلك المياه لابد من أخذها في الاعتبار عند تصميم السد. من هذه المعايير عملية ضخ المياه فوق السد وتغيير اتجاه تصريف المياه للمياه المحتجزة في الروافد المنخفضة التي تشق طريقها عبر الخنادق أو القنوات أو ممرات الصرف الموازية تقريبا للسد أو الحاجز.

• **العرض العلوي والسطح الحر:** من أجل السماح بحركة المعدات والتفتيش، ويجب أن يكون أن العرض العلوي للسد أو الحاجز أكبر من ٣ م. ومع ذلك فإنه قد يتم استخدام عرض أقل للجزء العلوي للسد إذا كانت هناك طرق أخرى للدخول (مثل وجود طريق قريب من السد). والأسطح الحرة للسدود تختلف من ١,٠ م إلى ١,٥ م والقيمة الأكثر شيوعاً هي ١ م (USACE 1994).

• **الحماية من الانجراف والطرد:** إن طرق حماية السدود من الانجراف تعتبر في العموم شبيهة بحماية جوانب القنوات (انظر الجزء الذي عنوانه الحماية من الانجراف).

إن التحليلات الهيدروليكية تشمل تخطيط مستوى الفيضان وتعيين طريق الفيضان باستخدام نماذج الحاسب الآلي HEC2 و HEC-RAS (USACE 1991c, 1998) والتحليل الخاص بالصرف الداخلي باستخدام نماذج مثل HEC-IFH (USACE 1992). وإن مستوى الفيضان هو المنطقة التي تقع على الجانب الأرضي لجانب النهر المغمور بالفيضان بسبب فيضان النهر، وإن المنطقة التي تم غمرها أثناء ١٠٠عام من الفيضان يطلق عليها مستوى الفيضان ١٠٠عام، وبالنسبة لدراسات تأمين الفيضان فان طريق الفيضان يمكن تعريفة بأنه قناة النهر أو أي طريق مائي آخر والمنطقة الملاحقة له من الأرض التي لابد من حفظها من أجل تفريغ قاعدة الفيضان (أي فيضان ١٠٠عام) بدون زيادة ارتفاع سطح المياه أكثر من الارتفاع المحدد. وإن أقصى ارتفاع مسموح به يكون دوماً ٠,٣١ متر فوق ارتفاع الفيضان ١٠٠عام تحت حالة ما قبل طريق الفيضان. وبالنسبة لنظام سريان المياه فوق الحرج، قد يتم تطبيق أقصى ارتفاع مسموح فوق خط مستوى طاقة ما قبل الفيضان أكثر ارتفاع الفيضان. إن المنطقة التي تقع بين طريق الفيضان وحد فيضان ١٠٠عام يطلق عليها أهداب طريق الفيضان. وبالتالي

فإن تلك المنطقة تعتبر هي النسبة من مستوى الفيضان التي يمكن إعاقتها بدون زيادة ارتفاع فيضان ١٠٠عام أكثر من ٠,٣١ م عند أي نقطة.

تحليل طريق الفيضان قد يتم باستخدام طريق التعدي للقناه المتاحة في نماذج سطح المياه المستقرة الحالة (مثل HEC-2، HEC-RAS) وفي الأحوال العادية يتم تعيين طريق الفيضان باستخدام توصيل القناة ذو الفقد المتساوي على جانبي المجرى المتقابلين. وإذا كانت تلك الطريق غير عملية أو أن هناك نماذج غير معتادة للسريان (مثل السريان ما بين الأحواض، السريان المقسم ... إلخ)، فان النقل غير المتساوي قد يتم استخدامه من أجل قبول الوكالات الفيدرالية والدولية ووكالة التأمين.

الحنية Groins: إن الحنيات تعتبر سدود ممتدة من جانب النهر إلى المسافة المحددة، التي قد تكون دوماً ممتدة إلى خط المياه الطبيعي، إقامة تلك الحنيات من أجل حماية حافة النهر من الانجراف أو من أجل التحكم في تعرجات القناة. الحنيات تكون مؤثرة بشكل أكبر حينما يتم إقامتها على هيئة سلسلة. أنه من الممكن إقامتها بحيث يكون اتجاهها عمودي على الحافة أو يتم إقامتها بحث تميل بزاوية على المجرى المنحدر لأعلى أو لأسفل، وإن تلك الممرات المنحدرة لأسفل والتي تميل بزاوية على المجرى تميل إلى عكس المجرى الأساسي بعيداً عن الحافة. وإن تلك الممرات المنحدرة لأسفل السالفة الذكر تتسبب في جعل الطوفان أقرب إلى الحافة والإبقاء به على المجرى العميق بالقرب من الحافة. بالنسبة للممرات المنحدرة لأعلى يطلق عليها منحرفة أو مردودة وتلك الممرات المنحدرة لأسفل يطلق عليها الحنيات الجاذبة. وبالاعتماد على خصائص محددة للموقع فان زوايا الانحدار على الجانب قد تختلف من ١٠-٣٠ درجة. بالإضافة إلى ذلك فإن الحنيات المنفذة قد تكون المسافات بينها أكبر منها في

حالة الحنيات الصلبة غير المنفذة. أما بالنسبة للحنيات الصلبة فيتم إقامتها على الأرض مع حماية كافية بحيث لا تسمح بالسريان عبرها. بالنسبة للحنيات المنفذة التي يتم إقامتها بحيث تكون ذات إطارات من مادة ممتلئة بفروع من الشجر أو الصخر بحيث تسمح بتقييد السريان عبرها.

بالنسبة لحنيات على شكل T فأنها تكون ذات سد متقاطع يتم إقامته على نهاية جانب النهر للحنية الطبيعية، وفي العادة، يكون هناك طول أكبر لمشروعات السد المتقاطع بالمجرى المائي المنحدر لأعلى ومشروعات أصغر بالنسبة للمجرى المائي المنحدر لأسفل من الحنية الأساسية.

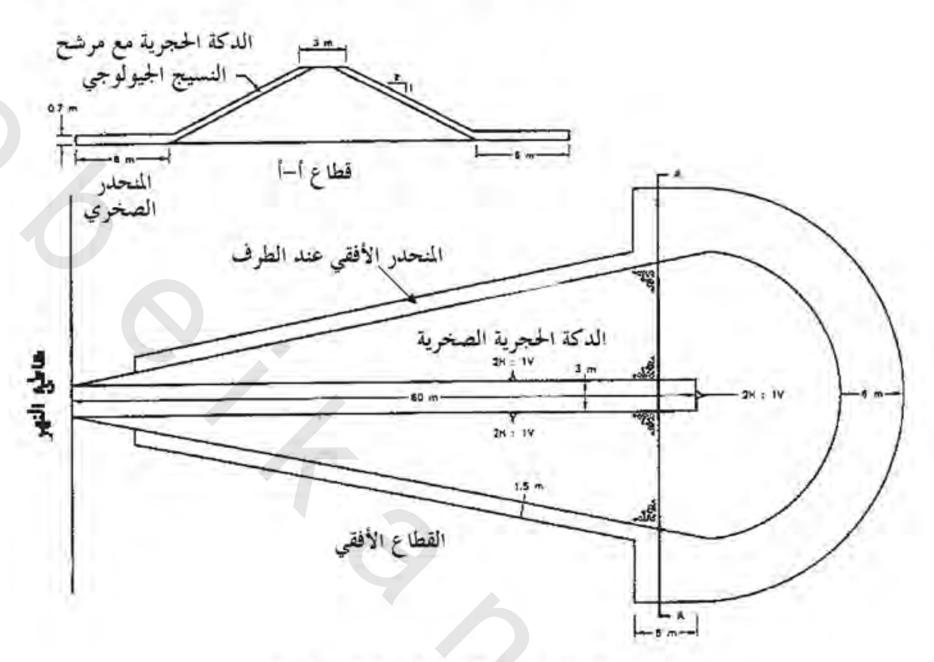
إن تركيبات وتصميات الحنيات يجب أن يتم تعيينها بمساعده النماذج الهيدروليكية الفيزيائية.

إن طول والفراغ المخصص للحنيات يعتمد على حالات الموقع وأهداف المشروعات النهرية فإذا كان النهر متسعاً وكان الجزء الأعظم من النهر المنساب يجب أن تكون اتجاهه بعيداً عن الجانب المقابل من النهر، فان الحنية التي تقوم بطرد الاتجاه بعيداً يجب أن تكون طويلة بشكل مناسب. وإذا كانت حافة النهر عبارة عن منحنى، فان الحنيات التي تكون على هيئة سلاسل قد تكون ذات أطوال مختلفة. والمسافة التي يتم استخدمها دوماً بين الحنيات تكون من مرتين إلى مرتين ونصف من طول الحنية بالنسبة للحواف المحدبة وتكون مساوية للحنيات بالنسبة للحواف المقعرة (USAERDC 2003) وأن الحنيات في حالة النهر المتسع تكون المسافات بينها أكبر منها في حالة النهر الضيق إذا كان كلاهما في الحالتين له نفس التصرف التصميمي. أيضاً، ربما توجد حنيات منفذة على مسافة إضافية من حنيات صلبة أو غير منفذة أو منفردة.

opelkandi.com

عادة تكون الميول الجانبية للحنية من ٢ أفقي: ١ رأسي إلى ٣ أفقي: ١ رأسي، وبالنسبة للمنحدرات الأكثر شدة فأنه قد يتم استخدمها بزوايا أكبر. ويتم استخدام انحدارات أقل بالنسبة للزوايا الأصغر، أن أنف الحنية الجاذبة أو الطاردة أو المستقيمة قد تكون نصف دائرية. وأن قطاع الحنية الذي يتوقع أن يكون في مواجهة شدة تيار أكبر لابد أن يتم حمايته جيداً وعلى الأخص الرأس أو الأنف أو الإصبع، فلابد أن يتم تسليحه جيداً بالصخر والخرسانة أو قوالب الاسمنت الصلب أو المعايير الأخرى للحماية من الانجراف، وفي حالة سلاسل حنيات الطرد فإن ما يكون منها عند نهاية الممر المائي المنحدر لأعلى لمر النهر الذي يتميز بوجود معايير الحماية فيكون في حاجة إلى أقصى درجة من الحماية. وفي حالة الحنيات الجاذبة، فإن منحدر جانب الممر المائي المنحدر لأعلى والإصبع قد يحتاج أيضا إلى أقصى درجة من الحماية. الحماية من الانجراف على ناحية المنحدر الجانبي والإصبع قد يتم تصميمها باستخدام الطرق التي تم وصفها في "الحماية من الانجراف". إن تصميم الحنية التقليدية موضح في الشكل رقم (٥,٢).

الطرق المختصرة Cutoffs: عندما يكون تعرج النهر على هيئة حدوة حصان فانه يكون هناك احتمال لتكوين فوري لقناة مستقيمة أو بحيرة على شكل قوس أو حلقة أثناء الفيضانات الكبرى. أن ذلك قد يؤدى إلى عدم استقرار القناة وأيضا إلى طوفان إلى الجانب المنحدر لأعلى من الثنية. وبتوقيع الموقف الذي ثم ذكره بأعلى، فأن تلك الاقتطاعات (الطريق المختصر) التي تم استكشافها قد يتم استخدمها من أجل جعل القناة مستقيمة. إن الطريق المختصر قد يتم إقامته من أجل منع التعرج الشديد للنهر من منطقة ذات أهمية وقيمة أو من أجل جعل مجرى النهر مستقيم.



الشكل رقم (٥,٢). الحنية النموذجية.

إذا تعدى زمن طول الدورة من ١,٥ إلى ٢ مرة طول الوتر الخاص بالمسار المتعرج أو بالقوس فأن الطريق المختصر الذي يتم إقامته بشكل اصطناعي قد يتم استكشافها على طول الطريق المختصر المتوقع. ومجرى الفيضان قد يؤدى إلى اتساع قناة الدليل لتصل إلى الحجم المطلوب وقد يتحول عن المحاذاة المنحنية القديمة، وإن قناة الدليل يجب أن يتم تنقيبها إلى قطاع أعمق، مثل ذلك (Singh 1967).

$$R/L^2 \succ R_m/{L_m}^2 \qquad (٥,٣)$$

حيث إن:

R = العمق المقدر للتنقيب الخاص بقناة الدليل.

L = طول قناة الدليل.

R_m = نظام عمق القناة المنحنية الأصلية.

L_m = طول دورة القناة المنحنية الأصلية.

ممر الفيضان Flood Bypass: ممر الفيضانات عبارة عن قنوات وأنفاق أو موصلات قد تم تعميمها من أجل تحويل نسبة من سريان فيضان النهر إلى مجرى آخر أو قناة منحدرة لأسفل عند نقطة على نفس المجرى المائي. وإذا كان التحويل مطلوب فقط أثناء الفيضانات ذات الحجم الأكبر من القيمة المحددة فان انعكاس الممر قد يكون موقعه في منطقة أعلى من قاعدة النهر وبالتالي يكون هناك تحويل بلا قيمة أثناء الفيضانات الصغرى. بالنسبة للتحليل الهيدروليكي لتحويل التدفق قد يشمل حساب لتقسيم التدفق باستخدام نماذج مثل HEC-2 و HEC-RAS (USACE 1991c, 1998). إن الانسياب التي تم تحويلها قد يتم تفريغها بالانحدار إلى أسفل في نفس القناة إذا كانت خصائص الفيضان في القناة المنحدرة لأسفل تسمح بذلك.

عملية إقامة القنوات Channelization: إن عملية إقامة القنوات تشتمل على تصفية وتوسيع واستقامة وتعميق القناة وكذلك تبطينها كما هو مطلوب من أجل تحسين التحويل الهيدروليكي. وأن التأثيرات الهيدروليكية لعملية إقامة القنوات يتم تقييمها باستخدام نماذج الحاسب الآلي مثل HEC-2 و HEC-RAS (USACE 1991c, 1998). ويجب القيام بالتحليل الاقتصادي للتكاليف والفوائد المصاحبة لكل عنصر من عناصر إقامة القناة من أجل التعرف على التصرفات التي يفضل القيام بها.

تحسين الكوبري Bridge Modification: إن تحسين الكوبري يشمل إزالة واستبدال وتوسيع ورفع الكباري الموجودة بالفعل على المجرى المائي الذي قد يكون ضيق جداً أو منخفض جداً. وفي بعض الأحوال يكون المجرى المائي الفعلي للكوبري مناسباً ولكن المجرى المائي الفعال قد يكون ضيق جداً وذلك لأسباب تتعلق بالسريان، فان العقبات تحدث عبر الممر المائي للكوبري لجوانب الممرات المنحدرة لأعلى وأسفل.

الصمود أمام الفيضان Flood Proofing: إن الوحدات المنعزلة خلال مستوى الفيضان أو المناطق المعرضة لمخاطر الفيضان تعتبر صامدة من خلال سد حلقي أو حائط لصد الفيضانات من خلال رفع المنشأ فوق مستوى الفيضان المتوقع، وفي بعض الأحيان تكون المستويات الأكثر انخفاضاً من الوحدات المتأثرة (التي قد تكون أسفل ارتفاع قاعدة الفيضان) مستقيمة وقد يتم تقويتها من أجل تحمل القوى الديناميكية والهيدروستاتيكية لمياه الفيضان.

أحواض الاحتجاز Detention Basins: إن أحواض الاحتجاز تعتبر احتجازات صغرى من أجل تخزين مسارات ومجارى العاصفة من روافد النهر وتقوم بإخراجها تدريجياً بعد الوصول إلى أقصى سريان في القناة الرئيسة، وأن حسابات حجم أحواض احتجازات قد تتم باستخدام نماذج من أجل تقديم وتحديد مسلك ممرات السطح والمنحنى البياني المائي له مثل HEC-1 (USACE 1991a). وأن حوض الاحتجاز الجاف قد يتم تصميمه لكي يظل جافاً معظم الوقت فيما عدا أثناء العواصف، ويمكن أن يتم تحقيق هذا من خلال إتاحة مخرج عند أو أسفل ارتفاع قاع الحوض. وأن حوض الاحتجاز المبتل يحتجز كمية من الماء تقريباً معظم العام وقد يتم استخدامه أجل الصيد والأنشطة الأخرى الخاصة بالمياه الضحلة. وبالنسبة لتلك الأحواض فإن

ارتفاع المخرج يتم الحفاظ عليه فوق قاع الحوض. أن أحواض الاحتجاز يتم تصميمها بشكل أساسي من أجل احتجاز الرواسب الناتجة عن مجارى السطح.

المعايير غير الإنشائية Nonstructural Measures

إن تلك المعايير الخاصة بالتحكم في الفضيان تشمل تأمين الفيضان وإقامة تنظيمات لمياه العاصفة وإعادة إقامة الوحدات المحمولة من خلال الفيضان.

إن التأمين الخاص بالفيضان يشمل عملية تصنيف المناطق التي يذهب إليها الفيضان طبقاً لاحتمال حدوث الفيضان وبالنسبة لأغراض التأمين، فان المناطق ذات مستوى فيضان في حدود ١٠٠عام يتم تصنيفها بالمناطق المعرضة لخطر الفيضان، وأن المناطق بين مستوى فيضان في حدود ١٠٠عام و٥٠٠عام يطلق عليها المناطق المعرضة لخطر متوسط من الفيضان، أما أماكن المناطق الباقية خارج حدود مستوى فيضان ٥٠٠عام فيطلق عليها المناطق المعرضة للحد الأدنى للفيضان. وفي دراسات تأمين الفيضان تم تقسيم المناطق حسب خطر حدوث الفيضان كالتالي (FEMA 1993):

- **المنطقة A**: هي تلك المناطق الخاصة بمستويات فيضان ١٠٠عام والتي يتم تعيينها من خلال تحليلات هيدروليكية تقريبية لارتفاعات قاعدة الفيضان، كما أن أعماق الفيضان لتلك المنطقة لا يتم توضيحها على خرائط معدل تأمين الفيضان.
- **المنطقة AE**: هي تلك المناطق الخاصة بمستويات فيضان ١٠٠عام والتي يتم تعيينها من خلال تحليلات هيدروليكية تفصيلية. ارتفاعات فيضانات القاعدة لتلك المنطقة يتم توضيحها على خرائط معدل تأمين الفيضان.
- **المنطقة AH**: هي تلك المناطق الخاصة بفيضان ضحل ١٠٠عام مع ارتفاع ثابت لسطح الماء (عادة ما تكون مناطق برك) حيث إن متوسط الأعماق تكوين بين

٠,٣١ و ٠,٩١ م. وأن ارتفاعات الفيضان التي يتم اشتقاقها من تحليلات هيدروليكية تفصيلية قد تم توضيحها عند فترات مختارة خلال تلك المنطقة.

• المنقطة AO: هي تلك المناطق الخاصة بالفيضان الضحل ١٠٠عام (عادة تكون عبارة عن فيضانات عبر مسارات منحدرات) حيث إن المتوسط للأعماق يكون بين ٠,٣١ و ٠,٩١ م. ومتوسط الأعماق يتم اشتقاقها من تحليلات هيدروليكية تفصيلية قد تم توضيحها عبر تلك المنطقة بالنسبة لمخاطر فيضان أيضا على أنها المنطقة AO.

• المنطقة A99: هي تلك المناطق الخاصة بمناطق مستوى الفيضان ١٠٠عام التي سوف يتم حمايتها من خلال نظام الحماية من الفيضان (نظام حكومي) وتلك المنطقة لم يتم توضيح لها أي ارتفاعات لفيضان القاعدة وأيضاً لم يتم توضيح أعماقها على خرائط معدل تأمين الفيضان.

• المنطقة V: هي تلك المناطق المناظرة لمستوى فيضان ١٠٠عام من السهول الفيضية الساحلية التي تتحدد عن طريق التحليلات الهيدروليكية التقريبية التي لها أخطار إضافية مرتبطة بأمواج العواصف وليس لها تقييمات تدفق ذات قاعدة موضحة في خرائط معدل تأمين الفيضان.

• المنطقة VE : هي تلك المناطق المناظرة لمستوى فيضان ١٠٠عام من السهول الفيضية الساحلية التي تتحدد عن طريق التحليلات الهيدروليكية التفصيلية التي لها أخطار إضافية مرتبطة بأمواج العواصف وليس لها تقييمات تدفق ذات قاعدة موضحة في خرائط معدل تأمين الفيضان.

• المنطقة X: هي تلك المناطق التي يمكن أن تقع خارج مستوى فيضان ١٠٠عام من السهول الفيضية، وضمن ١٠٠عام من السهول الفيضية التي يكون

متوسط أعماق الفيضان بها أقل من ٠,٣١ م، أو مناطق ١٠٠عام فيضان التي يكون متوسط مساحة الصرف المشاركة لها أقل من ٢,٥٩ كم٢، أو المناطق التي تم حمايتها من ١٠٠عام فيضان عن طريق حواجز الفيضان، وليس لها تقييمات تدفق ذات قاعدة أو أعماق موضحة في خرائط معدل تأمين الفيضان.

• **المنطقة D**: هي تلك المناطق غير المدروسة حيث لم يتم تحديد أخطار الفيضان لكنها متوقعة.

وقد تم سن القوانين والأحكام الخاصة بمياه العواصف من قبل الوكالات المحلية لتنظيم تطورات السلطات القضائية حتى لا تكون هناك آثاراً عكسية على ظروف الفيضان في المنطقة. وتشمل الأمثلة على القوانين المحلية لمراقبة الفيضان متطلبات عمل بحيرات حجز جافة أو رطبة حتى لا تتجاوز تدفقات المصطبة التي تنطلق إلى المجرى المائي المستقبل أثناء عاصفة محددة (مثل ١٠، ٢٥، أو ١٠٠عام عاصفة) القيم المحددة لها.

إعادة الوضع تتضمن نقل الوحدات المعزولة من داخل السهل الفيضي أو منطقة خطر الفيضان إلى مناطق أكثر أمناً مع تعويض مناسب لإعادة الاستقرار.

الحماية من الانجراف Erosion Protection

مقدمة Introduction

يمكن أن تكون الحماية من الانجراف مطلوبة للقاع أو حواف شواطئ قنوات المجاري المائية، أو المناطق التي يفسد نظامها أعمال الإنشاء أو التعدين، ومنحدرات إقامة السدود الأرضية. وبالنسبة لانجراف قناة المنحدر قد يكون سبب هذا الانجراف الضغط الناتج عن سريان المياه على طول وعبر منحدر الجرف، وقوى الموجات وقوى الانجراف عند منحنيات القناة أو تعرجها. كما أن الانجراف الخاص

بالمناطق المتأثرة ومنحدرات إقامة السدود الأرضية يكون سببها هو السريان فوق الأرض وقد يكون هيئة انجراف حدود أو غدير أو لوح. وإن الحماية ضد الانجراف الغرض منها حماية المباني والممتلكات الموجودة على الأرض وعلى خط الضفة، ومن معايير الوصول إلى ذلك تسليم المناطق المحددة ضد قوى الانجراف، والمعايير الإنشائية من اجل إزاحة المعيار الأساسي وقوى الانجراف المصاحبة لذلك من القسم المهدد لجرف القناة، وحماية أو تجنب تركيز السريان فوق الأرض أو استخدام معياريين أو أكثر من تلك المعايير وبالاعتماد على الاقتصاد والفن فإن من أكثر المعايير شيوعاً في الاستخدام هي الغطاء النباتي والمواد البيولوجية الفنية.

إن الطرق المستخدمة من أجل تحويل المجري الأساسي وقوى الانجراف المصاحبة قد تشمل الحنيات أو البامبو أو الخوازيق الخشبية والصخر على طول جرف المجرى، وأن الحماية ضد الانجراف يشمل دوماً الغطاء النباتي خاصة فيما يتعلق بحماية الجدول والألواح حيث حماية الجدول أو الغدير من الانجراف دائماً ما يشمل على الغطاء النباتي والحماية الصخرية ومعايير التحكم المتدرجة. وأن تصميات معايير الحماية من الانجراف تعتمد في العموم على قواعد افتراضية وبيانات اختبارية من النماذج الفيزيائية والخبرة والحكم العملي (Prakash 2000b).

إن اختيار وتصميم طرق الحماية من الانجراف من أجل المجاري المائية لابد وان يشمل الاعتبارات الفنية الجمالية والبيئية. وقد يشمل ذلك الطرق البيوتقنية والتحكم في الشد نتيجة للمياه واستقرار قاعدة المجرى والنمو الخضري من خلال زراعه البذور أو النبتات. وأن هذا الهدف يجب أن يؤدى إلى تقليل تغيير البرك والملامح الجيومورفولوجية والإبقاء على البيئة الطبيعية بقدر الإمكان.

إن المعايير الإنشائية للتحكم في الانجراف تشمل:

• تعديل منحدر قاع المجرى المائي: وقد يشمل ذلك إعادة تشكيل المجرى المائي من خلال تسوية المنحدرات الحالية للحافة الشديدة الانحدار أو التنقيب المتزايد للتربة الناتجة من تآكل التربة من الجرف واستبدالها بتربة تكون أقل قابلية للتآكل.

• الدبش الصخري أو سلة من التراب: يمكن أن يكون الدبش الصخري محقون أو غير محقون بالأسمنت أو موضوع في سلال من السلك الصلب أو المصنوع من الألياف الصناعية الذي يعرف بشكل شائع بالسلة، ويكون الدبش الصخري غير المحقون بالأسمنت مرناً ويمكن إعادة التزود به أو إصلاحه بسهولة. وهو يضيف خشونة إضافية للسان المحمي ويميل إلى تقليل سرعات التدفق. وبمرور الوقت يمكن أن تصبح الفراغات الشاغرة مملوءة بالتربة، مما يمكنه دعم النمو الخضري. وفي حالة الدبش المحقون بالأسمنت، يتم ملأ الفراغ الشاغر بالأسمنت. وهذا النوع من الدبش يمكن أن يكون مناسباً في المواقع التي تكون أحجام الدبش المتاحة بها أصغر من المطلوب (راجع الجزء التالي من هذا الفصل بعنوان "معايرة الدبش للمنحدرات الشديدة"). ويكون الدبش المحقون بالأسمنت صلباً وقابل للتلف بسبب الرسوخ ودورات ذوبان الجليد. ولتقليل احتمال التلف بسبب الرسوخ وأعطال المنحدر، يُنصح باستخدام الدبش المحقون بالأسمنت على منحدرات الضفة الأكثر تسطيحاً من زاوية استقرار مادة الضفة.

• الشكل الليفي المركب: وهو يتكون من حقائب من مواد صناعية مملوءة بالخرسانة وموضوعة بجانب بعضها البعض. ويمكن أن تكون الأشكال المركبة مناسبة للمواقع حيث يكون الدبش نادراً ويكون هناك وفرة من الرمل والحصى.

• قوالب الخرسانة المفصلية: أنها قوالب من الخرسانة المسلحة ذات قضبان تقوية تمتد من حوافها وعلى شكل عيون وخطافات. وهي تكون ملاصقة لبعضها ومتصلة ببعضها من خلال إدخال الخطافات لقالب واحد في عيون القالب الأخر.

• الرؤوس الخرسانية: أنها خرسانة عمودية أو منحدرة تؤدى إلى إقامة الجدران على التربة في حاله الجرف المنحدر بشدة. وفي بعض الحالات، قد يتم تزويد الجدران العمودية بالقرب من أصبع الجرف بالخرسانة المنحدرة أو الحماية الخضرية فوقها.

• التحكم التدريجي: أن ذلك يشمل إقامة العديد من منشئات التحكم التدريجية التي تكون على هيئة سلسلة عبر القناة من اجل تقليل ميل خط الطاقة وسرعات السريان في القنوات التي تمر وتنحدر لأعلى بالنسبة لمنشأة التحكم التدريجي.

• إقامة القنوات: أن ذلك يشمل معايير لتقليل سرعات سريان الانجراف من خلال اتساع القناة وزيادة المجاري المائية للكباري.

إن نوع حماية الانجراف لأي قناة محددة يجب أن يتم تعيينها بعد تحليلات بيئية وجيومورفولوجية وهيدروليكية واقتصادية (USAERDC 2003). يجب الاهتمام والتأكيد على أن حماية الانجراف لا تؤدى إلى فيضان عكسي غير مقبول أو حالات تآكل في الممرات المنحدرة لأعلى أو لأسفل. وقد تؤدي بعض المعايير مثل التحكم التدريجي أو المعايير التي تسبب زيادة خشونة القناة إلى ارتفاعات أعلى للفيضانات في الممرات المنحدرة لأعلى. أن المعايير التي تؤدى إلى زيادة قدرة احتمال القناة (مثل إقامة القنوات الفرعية) يمكن أن تتسبب في سرعات عالية وزيادة الانجراف وارتفاعات أعلى للفيضان.

تصميم جدار الحامية Design of Riprap Protection

إن تصميم تسليحات مرنة لقواعد القناة والضفة ومنحدرات إقامة السدود تتطلب تعيين الحد الأدنى لحجم الصخر الذي يتحمل قوى الانجراف المتوقعة في الممارسة العملية، ويتم تقدير أحجام الصخر باستخدام العديد من الطرق ويتم اختبار قيمة التصميم من خلال التحكيم ومقارنتها بمدى القيم التقديرية. وأكثر الطرق شيوعاً من أجل تحقيق كل ذلك هي:

١ – طريقة ماينورد (Maynord *et al.* 1989): في تلك الطريقة تكون المعادلة المستخدمة في تقدير حجم الجدار هي:

$$d_{30}/D = SF \times 0.30\left[(\gamma/(\gamma_s - \gamma))^{0.5} \times V/\sqrt{g\,D}\right]^{2.5} \qquad (٥,٤)$$

حيث إن:

d_{30} = حجم الجدار والذي يكون ٣٠٪ من مادته أدق من ناحية الوزن.

D = متوسط عمق المياه في القناة.

SF = معامل الأمان، والمقترح لتلك الطريقة أن يكون ١,٢ .

V = سرعة متوسط العمق الاعتيادي.

g = عجلة الجاذبية الأرضية.

γ = الوزن النوعي للماء.

γ_s = الوزن النوعي للحجر وتأخذ على أنها ٢,٦٤٤ كجم/ م٣.

ولقيمة γ_s تساوي ٢,٥٦٣ و ٢,٤٨٣ كجم/ م٣، فان d_{30} التي يتم حسابها يجب ضربها في ١,٠٦ و ١,١٤ على الترتيب. وأن المعادلة تكون صالحة للميول الجانبية ٢ أفقي: ١ رأسي أو المسطحة، وبالنسبة للميول الجانبية ١,٥ أفقي: ١ رأسي فإن عامل الضرب الذي يجب استخدامه لحساب d_{30} هو ١,٣ .

obeikandl.com

٢- الطريقة الأولى لهيئة الجيش الأمريكي للمهندسين (USACE 1994): وفي تلك الطريقة يتم استخدام المعادلة التالية لحساب d_{30} لحجم الجدار:

$$d_{30}/D_a = SF \cdot C_s \cdot C_v \cdot C_t \ \left[(\gamma/(\gamma_s - \gamma))^{0.5} \times V/\sqrt{g\, D_a\, K}\right]^{2.5} \qquad (٥,٥)$$

حيث إن:

K = معامل تصحيح الميل الجانبي ويساوي

$$K = \left[1 - \left(\sin^2\theta/\sin^2\varphi\right)\right]^{0.5}$$

θ = زاوية الميل الجانبي للجانب مع الأفقي.

φ = زاوية الحجر للجدار.

SF = معامل الأمان ويتراوح من ١,١ إلى ١,٥ .

D_a = العمق الموضعي للسريان.

C_s = معامل الاستقرار ويساوي ٠,٣٠ للأحجار البارزة و ٠,٣٧٥ للأحجار المستديرة.

C_v = معامل توزيع السرعة العمودية ويساوي ١,٠ للقنوات المستقيمة ويرتفع إلى ١,٢٨٣ داخل القنوات ذات انحناءات.

C_t = معامل السمك ويساوي ١,٠ لسماكة الجدار مساوية d_{100}.

بالنسبة لحماية الجدار على قاع القناة، $K = 1$، حيث إن θ تساوي صفر تقريباً.

٣- الطريقة الثانية لهيئة الجيش الأمريكي للمهندسين (USACE 1970): هذه الطريقة تعتمد على التجربة والخطأ من أجل تقدير قيمة d_{50} (م)، باستخدام المعادلة التالية:

$$0.0122\,(\gamma_s - \gamma)\,d_{50}\,K = SF\ \gamma\ V^2/\left[32.6\log_{10}\left(12.2\,D/d_{50}\right)\right]^2 \qquad (٥,٦)$$

حيث إن:

SF = معامل الأمان، ويؤخذ في حدود ١,٥ للتعبير عن السريان غير المنتظم.

٤- طريقة سايمون وسينتورك (Nelson *et al.* 1986 ،Barfid *et al.* 1981، Simons and senturk 1976): تلك الطريقة تستخدم لحساب SF الموافقة لقيمة التجربة لحساب d_{50} باستخدام المعادلات من رقم (٥,٧) إلى رقم (٥,١١). وإذا كانت SF التي تم حسابها غير مقبولة يتم تعديلها حتى يتم الحصول على قيمة SF المقبولة.

τ_{max} = أقصى إجهاد قص.

$$\tau_{max} = 0.76\,\gamma\,D\,S \quad (٥,٧)$$

$$\eta = 21\,\tau_{max} / [(\gamma_s - \gamma)\,d_{50}] \quad (٥,٨)$$

$$\beta = \arc\tan[\cos\lambda / \{(2\sin\theta / \eta\tan\varphi) + \sin\lambda\}] \quad (٥,٩)$$

$$\eta' = \eta\,[1 + \sin(\lambda + \beta)]/2 \quad (٥,١٠)$$

$$SF = \cos\theta\tan\varphi / [\eta'\tan\varphi + \sin\theta\cos\beta] \quad (٥,١١)$$

حيث إن:

S = ميل قاع القناة.

λ = زاوية سطح الماء مع الأفقي والتي تساوي تقريباً زاوية القاع مع الأفقي.

٥- معادلة الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين ASCE (Vanoni 1977):

$$d_{50} = [6W/(\pi\gamma_s)]^{0.333} \quad (٥,١٢)$$

$$W_{50} = 0.0232\,G_s\,V^6 / [(G_s - 1)^3\cos^3\theta] \quad (٥,١٣)$$

حيث إن:

W_{50} = وزن الحجر (كجم) الذي يبلغ قطره d_{50} (م).

G_s = الجاذبية النوعية للحجر.

٦- معادلة قسم كاليفورنيا للنقل (West Consultants 1996):

$$W_{33} = 0.0113\, G_s\, V_x^{6} / \left[(G_s - 1)^3 \sin^3(\rho - \theta)\right] \quad (٥,١٤)$$

$$d_{33} = \left[6W_{33}/(\pi \gamma_s)\right]^{0.333} \quad (٥,١٥)$$

حيث إن:

W_{33} = وزن الحجر (كجم) الذي يبلغ قطره d_{33} (م).

$V_x = 4/3\, V_a$ للسريان المضطرب.

$V_x = 2/3\, V_a$ للسريان الطبقي.

V_a = متوسط السرعة في القناة (م/ ث).

ρ = زاوية ٧٠ درجة لكسارة الحجر التي يتم وضعها بطريقة عشوائية.

هناك العديد من المعادلات الافتراضية التي تتعلق بحجم الدكة، وتلك المعادلات تعتمد فقط على متوسط السرعة بالقناة ولا تعتمد بشكل خاص على الميول الجانبية لجوانب القناة. وبعض المعادلات الشائعة الاستخدام التي تبين ذلك تم ذكرها هنا:

١- معادلة مكتب الولايات المتحدة للإصلاح (Peterka 1958):

$$d_{50} = 0.043\ V_a^{2.06} \quad (٥,١٦)$$

٢- معادلة المسح الجيولوجي للولايات المتحدة (West Consultants 1996):

$$d_{50} = 0.055\ V_a^{2.44} \quad (٥,١٧)$$

٣- معادلة إيزباش (Maynord *et al.* 1989 ; West Consultants 1996):

$$d_{50} = V_a^{2} / \left[2\ g\ C^2\ (G_s - 1)\right] \quad (٥,١٨)$$

حيث إن:

C = ٠,٨٦ لمناطق الاضطراب العالي و ١,٢٠ لمناطق الاضطراب المنخفض.

opeikandi.com

٤- طريقة HEC-11 (West Consultants 1996):

$$d_{50} = d_{\bar{50}}\ C_f\ C_s \quad (٥,١٩)$$

$$d_{\bar{50}} = 0.005943\ V_a^{\ 3}/\left[K^{1.5}\ \sqrt{D}\right] \quad (٥,٢٠)$$

$$C_f = \left[SF/1.2\right]^{1.5} \quad (٥,٢١)$$

$$C_s = 2.12/\left[G_s - 1\right]^{1.5} \quad (٥,٢٢)$$

من أجل الرسوخ يجب الأخذ في الاعتبار، الأحجام المختلفة للأحجار في طبقة الدكة حيث إن الأحجار الصغيرة سوف تشغل الفراغات بين الأحجام الأكبر من الصخور. إن التدريجات المختلفة من أحجار الدكة تنصح بها الوكالات المختلفة من أجل الأحجام المختلفة للدكة. والجدول رقم (٥,١) يشمل التدريج المقبول لأحجام الأحجار (Barfiled *et al.* 1981).

إن سمك طبقة الدكة T، يتم اتخاذه دوماً بأنه مساوي لمقدار $2d_{50}$ أو مساوي لأكبر حجم من الأحجار في طبقة الدكة.

الجدول رقم (٥,١). تدرج أحجام أحجار الدكة.

حجم الحجارة	نسبة الوزن لحجم أقل من المعطى إلى الوزن الكلي
d_{50} ٢,٠	١٠٠
d_{50} ١,٧	٨٥
d_{50} ١,٠	٥٠
d_{50} ٠,٤٢	١٥
d_{50} ٠,١٠	٠

المصدر: (Barfiled *et al.* 1981).

obeikandl.com

مثال رقم (٥,٣): أحسب أحجام أحجار الدكة لحماية الجانب والقاع لمجريين مـائيين A و B في تربة رملية. المعايير الهيدروليكية المتعلقة بكلا المجـريين المـائيين موضـحة في الجدول رقم (٥,٢). استـخدم معامل أمان قيمته ١,٥، وافترض أن $d_{50}= 1.5\ d_{30}$.

الحل:

إن أحجام أحجار الدكة التي يتم حسابها باستخدام المعادلات من رقم (٥,٤) إلى رقم (٥,٢٢). تكون فيها $D_a = D$ ، $C = 0.8$ ، $V_x = 4/3\ V_a$. وقد تم توضيح ذلك في الجدول رقم (٥,٣).

إن القيم المختارة لأحجام الدكة لكلا المجريين المائيين قد تم اختيارها بحيـث تقـع في مدي القيم التي تم حسابها بواسطة المعادلات من رقم (٥,٤) إلى رقم (٥,٢٢).

الجدول رقم (٥,٢). المتغيرات الهيدروليكية للقنوات.

المتغير	القيمة	
	المجرى الأول A	المجرى الثاني B
D (م)	٢٠,٧٣	٩,٣
V (م/ث)	٣,٩٦	٣,٣
V_a (م/ث)	٣,٠٥	٢,٥
θ (درجة)	٢١,٨	٢١,٨
φ (درجة)	٤٠	٤٠
γ_s (كجم/م٣)	٢٤٠٤	٢٤٠٤
Gs	٢,٤	٢,٤
S	٠,٠٠٠٤٨٦	٠,٠٠١٥٤

الجدول رقم (٥,٣). أحجام الدكة الحجرية التقديرية.

الطريقة	حجم الدكة الحجرية المقدرة d_{50} (م)	
	المجرى الأول A	المجرى الثاني B
١- ماينورد	٠,٣٠	٠,٢٣
٢- الطريقة الأولى لهيئة الجيش الأمريكي للمهندسين	٠,٤٨	٠,٣٧
٣- الطريقة الثانية لهيئة الجيش الأمريكي للمهندسين	٠,١٥	٠,١٣
٤- سايمون وسينتورك	٠,٣٨*	٠,٣٨*
٥- الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين	٠,٤٣	٠,٣٠
٦- مكتب الولايات المتحدة للإصلاح	٠,٤٣	٠,٢٨
٧- المسح الجيولوجي للولايات المتحدة	٠,٨٤	٠,٥١
٨- إيزباش	٠,٤٦	٠,٣١
٩- قسم كاليفورنيا للنقل	٠,٦٦	٠,٤٤
١٠- HEC-11	٠,٠٩	٠,٠٧٤
القيمة المختارة (المعتمدة)	٠,٤٦	٠,٣٨

* SF = ١,٥ لميل السريان للمجرى المائي A ويساوي ١,٣ للمجرى المائي B.

مثال رقم (٥,٤): إن تصميم الدكة الحجرية المخصصة لحماية الحنيات والذي يقع أنفها في جزء القناة الذي يكون فيه عمق مياه الفيضان ٥ م وتكون سرعة السريان ٢ م/ث (الشكل رقم (٥,٢)). وإن الميول الجانبية للحنيات تكون ٢,٥ أفقي: ١ رأسي. استخدم (γ_s) تساوي ٢٤٠٠ كجم/ م^3، وزاوية الحجر للجدار تساوي ٤٠ درجة.

الحل:

استخدم معادلة رقم (٥,٥) من أجل تعيين حجم الدكة الحجرية.

زاوية الميل الجانبي θ

$$\theta = \tan^{-1}(1/2.5) = 21.8^\circ$$

وأيضاً

$$K = \left[1 - \left(\sin^2 21.8/\sin^2 40\right)\right]^{0.5} = 0.8162$$

D_a = العمق الموضعي للفيضان = ٥ م.

بافتراض أن معامل الأمان = ١,٥ بالنسبة للسريان المكثف. وإنه يمكن استخدام معامل استقرار قيمته ٠,٣٧٥ للأحجار البارزة، ويمكن استخدام معامل توزيع السرعة العمودي بحيث تكون قيمته ١,٢٥ للسريان بالقرب من أنف الحنية، ومعامل السماكة تكون قيمته ١، بافتراض أن سمك الدكة الحجرية يساوي d_{max}. وأيضاً من أجل عملية التقليب والتوزيع الغير منتظم للسرعة عند أنف الحنية، يمكن افتراض معامل تصحيح السرعة يساوي ١,٥. إذا:

$$V_{max} = 1.5 \times 2.0 = 3\ m$$

وأيضاً

$$d_{30}/D_a = 1.50 \times 0.375 \times 1.0 \times 1.25 \left[\{1000/(2400 - 1000)\}^{0.5} \left\{3.0/\sqrt{(9.81 \times 5.0 \times 0.8162)}\right\}\right]^{2.5}$$

إذا

$d_{max} = 1.02\ m$ و $d_{50} = 0.357/0.70 = 0.51\ m$ و $d_{30} = 0.357\ m$

قم بتصميم نظام ترشيح للدكة الحجرية (أنظر القطاع الذي عنوانه "تصميم المرشحات" من هذا الفصل)، وقم بالتزويد بمئزر أفقي على طول أصبع الحاجز تماما كما تم وصفه في الجزء الذي عنوانه "الحماية ضد الفرك عند أصبع الحافة" من هذا الفصل.

تحديد حجم الدكة الحجرية عند الانحدارات الشديدة

Riprap Sizing for Steep Slopes

في حالة السريان على طول المنحدرات الشديدة مثل السريان عبر القنوات الجبلية، قنوات تصريف المناجم، أو الخنادق على طول إقامة السد التي تتميز بوجود منحدرات تتراوح بين ٢-٢٠٪. فإن التصرف لكل وحدة عرض للقناة وعمق السريان يكونا منخفضان بشكل عام وتكون سرعة السريان مرتفعة بشكل نسبي. وهناك معادلة مقبولة لتعيين حجم الدكة الحجرية في تلك الحالة (USACE 1994) وهي كالتالي:

$$d_{30} = 1.95\ K\ S^{0.555}\ q^{2/3} /\ g^{1/3} \qquad (٥,٢٣)$$

حيث إن:

d_{30} = حجم الحجر (م) حيث إن ٣٠٪ من الأحجار تكون أصغر من ناحية الوزن.

K = معامل السريان المكثف، ودائماً يتم اعتباره مساوي ١,٢٥.

S = ميل القاع (م/ م).

q = التصرف لوحدة العرض (م٢/ ث).

تصميم المرشحات Design of Filters

دائما ما يكون حجم دكة الحجارة أكبر بكثير من أحجام الجسيمات الخاصة بمادة القاعدة التي تكون حافة القناة. ومن أجل منع الفقد في مادة القاعدة من خلال الفراغات بين الجسيمات في الدكة الحجرية الموجودة فوقها، فإن كلا الطبقتين يجب أن يتم الفصل بينهم من خلال مرشح جيولوجي، ومرشح الرمال والزلط أو كلاهما. ومن أجل التأكيد على أن أصغر الجسيمات لا تهرب من المرشح، فإن فتحات الثقوب في مادة المرشح لا يجب أن تكون أكبر من أصغر حبيبات لمادة القاعدة. وأيضاً من أجل

تجنب تراكم الضغط الهيدروليكي خلف المرشح وللحفاظ على مادة المرشح، فإن ثقوب المرشح يجب أن تكون صغيرة جداً حتى لا يتم انسداد الثقوب من خلال تلك الحبيبات. وكذلك فإن حبيبات المواد التي يتم ترشيحها عبر الفتحات لا يجب أن تكون صغيرة جداً. وفي ذات الوقت، فإن الحبيبات في مادة المرشح لا يجب أن تكون كبيرة جداً حتى لا تؤدي إلى انسداد الفراغات بين مواد الدكة الحجرية (الردم الحجري).

وهناك معايير يتم استخدامها بشكل شائع من أجل تعيين تدرج مادة المرشح، وتعتمد على توزيع الأحجام لمادة الدكة الحجرية والقاعدة وهي:

١- d_{50} للفلتر / d_{50} للقاع < 40 و d_{50} للدكة / d_{50} للفلتر < 40

٢- 5 < d_{15} للفلتر / d_{15} للقاع < 40 و 5 < d_{15} للدكة / d_{15} للفلتر < 40

٣- d_{15} للفلتر / d_{85} للقاع < 5 و d_{15} للدكة / d_{85} للفلتر < 5

إن تلك المعايير تشمل أربعة أحجام للمرشح تعتمد على تدرج مادة القاعدة وعلي تدرج الدكة الحجرية كما أنها تقدم ثلاث قيود كحد أقصي وقيدين كحد أدنى لقيمة d_{15}، وقيد واحد كحد أقصى وقيد واحد كحد أدنى لقيمة d_{50}، وكذلك قيد واحد كحد أدني لقيمة d_{85} لمادة المرشح. إن قيم d_{15}، d_{50}، d_{85} لمادة المرشح يجب أن يتم اختيارها ضمن تلك القيود منحنيات مثل منحني التدرج لمادة المرشح التي تعتبر مماثلة تقريباً لمنحنيات التدرج لمادة القاعدة والدكة الحجرية.

الحماية من الانجراف عند مرتكز جدار الدعم

Protection Against Scour at Bank Toe

بسبب الانجراف عند قاعدة القناة فإن الدكة الحجرية عند نقطة تقاطع منحني الحافة مع القاعدة (مثل عند مرتكز جدار الدعم) قد تصبح متزحزحة من مكانها. وإن تصميم الدكة الحجرية بحيث يتم حمايتها من الانجراف عند مرتكز جدار الدعم

ويتطلب هذا تقييم الانجراف المحتمل وعمقه أسفل مجري القناة. وعملياً، فإن العمق المحتمل للانجراف يتم تقييمه باستخدام العديد من الطرق المختلفة ويتم اختيار قيمة التصميم من خلال الحكم والتقييم. وإن تجارب النماذج الهيدروليكية قد تكون مطلوبة في حالات خاصة. وهناك بعض الطرق الشائعة لتقدير الجرف في قاع القناة وهي كالتالي:

١ - عمق جرف النظام (Davis and Sorensen 1970 ; Zipparro and Hansen 1993):

$$d_s = x \cdot 0.473 \left(Q/f\right)^{0.333} - D \qquad (٥,٢٤ أ)$$

$$d_s = x \cdot 1.337 \left(q^2/f\right)^{0.333} - D \qquad (٥,٢٤ ب)$$

حيث إن:

d_s = عمق الانجراف أسفل قاع مجري القناة (م).

X = معامل الضرب الذي يختلف من ١,٢٥ إلى ٢,٠ اعتماداً على شدة تركيز السريان عند منطقة ارتكاز جدار الدعم.

Q = التصرف التصميمي (م³/ ث).

q = وحدة التصرف لكل متر من عرض القناة (م²/ ث).

f = معامل طمي لاسيلي = $1.76\sqrt{d_m}$

$d_m = d_{50}$ = لمادة قاع مجري القناة بالملليمتر.

٢- معادلة نيلز (USBR 1984) :

$$d_s = x \cdot d_i \left(q_f/q_i\right)^n \qquad (٥,٢٥)$$

حيث إن:

x = معامل الضرب يختلف من ٠,٥ إلى ٠,٧ اعتماداً على احتمال تركيز السريان.

d_i = معدل عمق المياه الذي يصل إلى عملية التفريغ التام عند الجدار (م).

q_f = التصرف التصميمي لكل وحدة من عرض القناة (م^٢/ ث).

q_i = التصرف التام لحافة القناة لكل وحدة من عرض القناة (م^٢/ ث).

n = أس قوة جبرية يتغير من ٠,٦٧ للفرشة الأساسية من الرمال إلى ٠,٨٥ للفرشة الأساسية من الزلط الخشن وتفرعاته.

٣- USBR المعدلة لمعادلة لاسي (USBR 1984):

$$d_s = x \cdot 0.473\left(Q/f\right)^{0.333} \quad (٥,٢٦)$$

حيث إن:

x = معامل الضرب الذي يتغير من ٠,٢٥ إلى ١,٢٥ اعتمادا على شدة تركيز السريان بالقرب من ارتكاز جدار دعم القناة.

٤- USBR المعدلة لمعادلة بلينش (USBR 1984):

$$d_s = x \cdot \left(q_f^{\,0.67}/F_b\right) \quad (٥,٢٧)$$

حيث إن:

x = معامل الضرب الذي يتغير من ٠,٦ إلى ١,٢٥.

F_b = معامل صفري للقاع (م/ ث^٢) ويقدر بقيمة ٠,١٤ لقيمة d_{50} تساوي ٠,١ مم، وبقيمة ٠,٣٧ لقيمة d_{50} تساوي ٠,٣٠ مم، وبقيمة ٠,٨ لقيمة d_{50} تساوي ٣,٠ مم، وبقيمة ١,٤ لقيمة d_{50} تساوي ٣٠ مم، وبقيمة ٣,٠ لقيمة d_{50} تساوي ١٠٠٠ مم.

٥- طريقة السرعة الصامدة المناسبة (USBR 1984):

$$d_s = D\left[\left(V_a/V_c\right)-1\right] \quad (٥,٢٨)$$

حيث إن:

V_c = السرعة المناسبة أو المثالية (م/ ث) وتتراوح من ٠,٦ إلى ١,٨ م/ ث لقيمة D تساوي ١,٥ م، ومن ٠,٦٥ إلى ٢,٠ م/ ث لقيمة D تساوي ٣,٠ م، ومن ٠,٧ إلى ٢,٣ م/ ث لقيمة D تساوي ٦,٠ م، ومن ٠,٨ إلى ٢,٦ م/ ث لقيمة D تساوي ١٥ م. والقيم الأقل لـ V_c تؤدي لسهولة تآكل مادة المجري والقيم الأعلى لها تؤدي مقاومة الانجراف لمادة المجرى.

٦- القياسات الميدانية لطريقة الانجراف (USBR 1984):

$$d_s = 1.32\ (q_f)^{0.24} \qquad (٥,٢٩)$$

مثال رقم (٥,٥): أحسب أعماق الانجراف للمجاري المائية A و B للمثال رقم (٥,٣). والمعايير الهيدروليكية المتعلقة بذلك قد تم توضيحها في الجدول رقم (٥,٤).

الحل:

حيث إن:

$$f = 1.76\sqrt{(0.10)} = 0.56$$

ولقاع المجرى الرملي فإن: $n = 0.67$

ولقيمة $d_s = 0.10\ mm$ فإن: $F_b = 0.14$

وللتآكل بسهولة في قاع المجرى فإن: $V_c = 0.8\ m/s$

وإن أعماق الجرف التي يتم حسابها باستخدام المعادلات من رقم (٥,٢٤) إلى رقم (٥,٢٩) تم إيضاحها في الجدول رقم (٥,٥).

إن القيم المتبناة لأعماق الانجراف لكلا المجرين قد تم اختيارها بحيث تكون ضمن مدى القيم التي قدرتها المعادلات من رقم (٥,٢٤) إلى رقم (٥,٢٩).

noor-book.com

الجدول رقم (٥,٤). متغيرات تقدير أعماق الجرف.

المتغير	القيمة	
	المجرى A	المجرى B
Q (م^3/ث)	٣٥٣٩٠	٧٧٠
Dmm (مم)	٠,١٠	٠,١٠
d_i (م)	١٢,٠	٤,١
q_f (م^2/ث)	٨٢,١	١٣,٦
q_i (م^2/ث)	٤٣,٩	٩,٤

الجدول رقم (٥,٥). أعماق الجرف التقديرية.

الطريقة	عمق الجرف التقديري أسفل القاع (م)	
	المجرى A	المجرى B
١- عمق نظام الجرف	٢,٨ – ١٧,٠	٠ – ١,٢
٢- معادلة نيل	٩,١ – ١٢,٨	٢,٦ – ٣,٧
٣- USBR المعدلة لمعادلة لاسي	٤,٧ – ٢٣,٦	١,٣ – ٦,٦
٤- USBR المعدلة لمعادلة بلينش	٢٢ – ٤٥,٨	٦,٦ – ١٣,٨
٥- طريقة السرعة المناسبة للصمود	٥٨,٣	١٩,٨
٦- القياسات الميدانية لطريقة الجرف	٣,٨	٢,٥
القيم المختارة	١٨	٥

التغليف بغطاء (مئزر) Launching Apron

من أجل الحماية ضد انزلاق جانب الدكة الحجرية في فتحات الانجراف بالقرب من نقطة ارتكاز جدار الدعم، فإنه يتم وضع مئزر فوق قاع مجرى القناة،

obeikandl.com

ويمتد من نقطة ارتكاز جدار الدعم للدكة الحجرية المنحدرة ناحية مركز القناة. ويتم تعيين طول ذلك المئزر على طول عرض القناة من العلاقة $p \times d_s$ حيث إن p هو عامل ضرب يتراوح من ١,٥ - ٢,٠.

ولأن فتحات الجرف تتكون بالقرب من نقطة ارتكاز جدار الدعم، فإن الأحجار من جانب المئزر على طول الانحدار الجانبي لفتحة الجرف، تؤدي إلى حماية الميل الجانبي لفتحة الجرف ضد الانجراف، وتؤدي إلى تقليل أو منع المزيد من الانجراف. وإذا كان الميل الجانبي لفتحة الجرف Z:1 (أفقي: رأسي) وسمك الدكة الحجرية المطلوبة لحماية الميل الجانبي لفتحة الجرف هو T_c فإن حجم الحجر VS المطلوب لوحدة الطول للجانب الذي يتم حمايته يساوي

$$VS = d_s \cdot T_c \cdot \sqrt{\left(Z^2 + 1\right)} \quad (٥,٣٠)$$

إن حجم الحجر يجب أن يكون متاحاً عبر المئزر، لذلك فإن سمك الحجر في ذلك المئزر T_t يعطى بالمعادلة

$$T_t = \left(T_c / P\right) \cdot \sqrt{\left(Z^2 + 1\right)} \quad (٥,٣١)$$

عادة تكون: $Z = 2$ ، $P = 1.5$ ، $T_c = 1.24$ حيث إن

T = سمك الدكة الحجرية على طول الميل الجانبي، لذلك فإن $T_t = 1.85\ T$.

مثال رقم (٥,٦): باستخدام أعماق الجرف للمجاري المائية A، B والتي تم تقديرها في المثال رقم (٥,٥) وأحجام الدكة الحجرية المختارة في المثال رقم (٥,٣)، احسب أبعاد المئزر لكل حالة.

الحل:

إن سمك الدكة الحجرية على طول جوانب كل مجرى تكون ضعف حجم الدكة الحجرية المقدرة، و $P = 1.5$ لذلك يكون للمجرى A.

$$T = 2 \times d_{50} = 2 \times 0.46 = 0.92\ m$$

بينما للمجرى B

$$T = 2 \times 0.38 = 0.76\ m$$

أبعاد المتزر تم حسابها باستخدام المعادلتين رقم (٥,٣٠) ورقم (٥,٣١) وقيمها مبينة في الجدول رقم (٥,٦).

الجدول رقم (٥,٦). معاملات تصميم المتزر.

المعامل	القيمة (م)	
	المجرى A	المجرى B
T	٠,٩٢	٠,٧٦
T_t	١,٧	١,٤
طول المتزر	٢٧	٧,٥

الإجراءات التصورية لصَدّ التيار الرئيس بعيداً عن المصرفِ

Conceptual Measures to Repel Main Current Away from Bank

في بعض الحالات، قد ينتج تآكل الحافة نتيجة لميل التيار الأساسي للتحرك تجاه حافة النهر ولابد من وجود وسائل للحماية من ذلك. تلك الوسائل للحماية من ابتعاد التيار الأساسي عن الجانب الخارجي لحافة المجرى كالتالي (Singh 1967; CBIP 1971):

١- وضع خوازيق خشبية على طول المسطحات المستطيلة لتغطية جزء القناة الذي يشغله الجزء المنحني لحافة المجرى. وقد تكون تلك الخوازيق من الصخر ولابد أن تكون ذات عمق مناسب في الطبقة الأساسية للنهر لكي تكون مستقرة ضد حالات الفيضان. وبمرور الوقت، تكون تلك الخوازيق مقاومة للسريان وتتسبب في ترسيب الطمي في تلك المنطقة.

٢- استخدام حواجز الصد إذا كانت الزاوية لجانب جدار المجرى الذي يجري ضد التيار حادة. تلك الحواجز قد تكون مسامية أو غير مسامية، مغمورة أو غير مغمورة.

٣- استخدام الصخر في القاعدة الأساسية للقناة في المنطقة المنحنية من أجل رفع تلك القاعدة وتقليل السرعات عند القناة وكذلك تقليل الجرف في تلك المنطقة.

٤- استخدام حواجز الجذب عند الجانب المقابل لزاوية الانفراج بالنسبة لجانب القناة المنحدرة لأعلى من أجل جذب التيار الرئيس تجاه ذلك الجانب. تلك الحواجز أو السدود قد تكون أيضاً مسامية أو غير مسامية، مغمورة أو غير مغمورة.

طرق أخرى وطرق فنية تقنية لحماية حافة المجرى ونقطة ارتكاز حافة الدعم

Biotechnical and Other Methods of Bank and Toe Protection

إن تلك الطرق تشمل استخدام المواد النباتية أو التخليقية بدلا من الصخور والتراب. تلك البدائل تستخدم من اجل حماية الحاجز من الانجراف:

١- القوالب المفصلية أو القماشية: إنها حقائب قد تم صنعها من مواد تخليقية مليئة بالخرسانة والأسمنت أو الأتربة الأسمنتية وتم وضعها على منحدرات الحافة ونقطة الارتكاز. إن الحقائب الخضراء التخليقية قد يتم استخدامها من أجل الإبقاء على نظام مماثل للحديقة. وأن تلك الحقائب قد تكون ملاصقة لبعضها أو قد يكون بينها مسافات من أجل السماح لنمو النباتات أو البذر. وتعتبر تلك القوالب المفصلية قوالب من الخرسانة ذات مسافات بينية من أجل البذر ونمو النبات. ويتم وضعها على منحدر الحافة والمسافات بينها تكون ممتلئة بالتربة ويتم بذرها وتكون مناسبة لأنواع النباتات.

٢- منتجات التحكم في الانجراف ذات الشكل الأسطواني (الملفوفة): إنها حصائر مصنوعة من مواد تخليقية من أجل مقاومة الانجراف البيئي والميكروبي، وأنها

تحتوي على مسافات بينية مفتوحة للسماح بتخلل النبات. ويتم إنشائها من طبقات مختلفة من الخيوط التخلقية التي تؤدي إلى تقليل جرف التربة من المناطق المغطاة بها. تلك الحصائر قد يتم تثبيتها بالأسلاك وقد تكون ذات مكون عضوي مصنوع من ليف جوز الهند وفيبر الشرائح الخشبية. ويتم استخدام البذور في التربة قبل التغطية بحماية REGP.

٣- الغطاء النباتي: إنه يشمل كلا من اختيار النوع النباتي الذي سوف يعيش وينمو تحت تلك الظروف المناخية المسيطرة وموقع وضع تلك البذور أو النباتات.

هناك طرق أخري بديلة لحماية نقطة ارتكاز جدار دعم المجرى (ذلك يختلف عن الحواجز والدكة الحجرية) وهي:

١- الكتل الخشبية العضوية المصنوعة من ألياف جوز الهند أو مواد القش. ويتم تأمينها من خلال القضبان الخشبية عند مستوي المياه المنخفض المتوقع. وتعيق تلك الكتل الخشبية سرعات السريان المنخفضة وتسمح بنمو النباتات خلفها، وبعد بعض الوقت، قد تتآكل تلك الألواح تاركة الحماية النباتية.

٢- صندوق لانكر: وهو بناء على شكل صندوق خشبي مفرغ عند نقطة ارتكاز حافة القناة أسفل خط المياه المنخفض، مع إبقاء الصندوق مفتوحاً من جانب المجرى المائي ليسمح بدخول الكائنات المائية الدقيقة. وتعتبر قمة صندوق لانكر منضدة مناسبة لوضع الدكة الحجرية أو الشكل المركب فوقه للعمل على تثبيتها في مكانها. وللمزيد من الترسيخ يتم استخدام الصلب وقضبان التسليح خلال صندوق لانكر حتى التربة السفلية، ويتم دفن القضبان المعدنية في المنطقة المنحدرة للجانب الخلفي من صندوق لانكر.

openelkaddi.com

٣- جدران احتجاز حشوات الجذور: وهي قطاعات من جذوع الأشجار والجذور عند نقطة ارتكاز الحافة من أجل الحماية من الانجراف. ويعمل النسيج الخشن من حشوة الجذور على تقليل سرعة السريان بجوار حدود المجرى وذلك يساعد على الترسيب ويسمح بالنمو الخضري عند حدود المجري.

تفاصيل إضافية حول الطرق التقنية الحيوية لحماية الضفة والجوانب يمكن الحصول عليها من المصّنعين والباعة الفرديين.

منشئات الإسقاط Drop Structures

تستخدم منشئات الإسقاط للتحكم في السقوط أو الميل للتغييرات التي تحدث لميل القاع لتقليل الميل الحالي للقناة وللتحكم في الجرف المحتمل عبر المجري. وهناك أنواع عديدة لتلك المنشئات مناسبة للتحكم التدريجي ووصفها كالتالي:

الإسقاط العمودي المستقيم Straight Vertical Drop: يصمم هذا الإسقاط بحيث يكون عمودياً ويكون مناسباً للقنوات الصغيرة والمصارف وهو إسقاط صغير نسبياً ويكون بعلو حوالي ١-١,٥ م. وقمة ذلك المنشأ تكون ذات سد صغير إذا كان طول ذلك الجزء العرضي للذروة أكبر من $2.5\,H$ حيث إن H هي الضاغط فوق الذروة لذلك:

$$q = 1.70\,H^{1.5} \qquad (٥,٣٢)$$

المعادلات الافتراضية لحساب الأبعاد المتعلقة بتلك الإسقاطات العمودية كما يلي (Chow 1959):

$$D = q^2/g\,h^3 \qquad (٥,٣٣ أ)$$

$$L_d/h = 4.30\;D^{0.27} \qquad (٥,٣٣ ب)$$

$$y_1/h = 0.54\;D^{0.425} \qquad (٥,٣٣ ج)$$

$$y_2/h = 1.66\ D^{0.27} \qquad (٥,٣٣\ د)$$

$$F_1 = q/\sqrt{(g\,y_1^{\,3})} \qquad (٥,٣٣\ هـ)$$

حيث إن:

D = رقم السقوط.

h = السقوط بين ارتفاعات منبع التيار ومصب التيار عن منسوب القاع.

y_1 = عمق المياه لنقطة الارتكاز لجدار الدعم لسمك المياه أو بداية القفزة الهيدروليكية.

y_2 = عمق المياه التالي للعمق y_1.

L_d = المسافة من نقطة الارتكاز الخاص بجدار الدعم للإسقاط إلى موقع y_1.

طول القفزة من المستوى الأفقي لقناة السريان تجاه المصب يأخذ في حدود $6y_2$ أو قد يتم تقديره من الجدول رقم (٣,١٥) لذلك:

الطول التقريبي لأرضيةِ المجرى ناحية المصب يساوي

$$\text{approximate length of the downstream floor} \cong L_d + 6\,y_2 \qquad (٥,٣٣\ و)$$

إن مستوى اتجاه مجرى النهر نحو المصب قد يكون على ارتفاع من الأرضية مثل تصميم عمق المياه في الخلف فيكون أكبر من y_2. إن ذلك قد يتطلب أن تكون الأرضية أقل من قاع القناة في اتجاه مصب التيار. وإن سمك وطول أرضية اتجاه مجرى التيار نحو المصب كلاهما يجب أن يكون آمنا ضد تدرج الخروج. ولتطبيق جيد يجب أن يتم تقدير جزء مقتطع عند نهاية الأرضية الأفقية التي تكون بعمق من ٠,٧٥ - ١ م وسمك ٠,٢٥ م. وإن عمق الجزء أو البحيرة المقتطعة قد يزيد إذا كان ذلك مطلوباً من أجل الحماية ضد الجرف المحتمل الذي سيتم وصفه بالفقرة القادمة "السقوط من خلال المئزر المنحدر".

يكون هناك بركة منخفضة على جانب اتجاه مجرى التيار لمنشأة السقوط وتلك البركة تكون فعالة ومؤثرة من أجل تبديد الطاقة بالنسبة للإسقاطات العمودية الصغيرة. هناك أبعاد ابتدائية للتصميم قد يتم تقديرها من خلال:

$$L_s = 5\sqrt{(H \cdot H_L)} \qquad (٥,٣٣ ز)$$

$$X = 0.25\ (H \cdot H_L)^{2/3} \qquad (٥,٣٣ ح)$$

حيث إن:

H = الضاغط فوق المصطبة.

H_L = السقوط بين منسوب سطح المياه بين منبع التيار ومصب التيار.

L_s = طول الأرضية المنخفضة.

X = عمق الأرضية المنخفضة أسفل قاع القناة عند اتجاه مجرى النهر نحو المصب.

وفي بعض الأحيان، بالنسبة للاعتبارات البيئية، قد يكون مطلوب وضع المصطبة فوق القاعدة الأساسية لقناة السريان عند منبع التيار من أجل خلق بركة ضحلة على جانب السريان لمنبع التيار. وبالنسبة لقنوات التحكم في الفيضان، قد تسبب المصطبة المرتفعة ارتفاع في معدل الفيضان في اتجاه السريان عند منبع التيار وقد يكون ذلك غير مرغوباً.

الإسقاط باستخدام مئزر مائل Drop with Sloping Apron: إن تلك الإسقاطات قد تكون مناسبة للسقوط من ١-٣ م. والإسقاطات الشائعة الاستخدام تكون متغيرة ما بين ٢ أفقي: ١ رأسي و ٤ أفقي: ١ رأسي. إن تلك المنشأة قد يتم إقامتها بالخرسانة أو الطوب. وفي حالة الإنشاءات الصخرية، فإن أحجام الأحجار قد يتم تعيينها من خلال الطرق التي تم ذكرها في الفقرة السابقة

(الحماية من الانجراف). إن المصطبة قد تكون متسعة للإنشاءات الصخرية، وأيضاً المصطبة المتسعة الحادة تكون مناسبة للخرسانة. وبالنسبة للمصطبة المتسعة، فإن طول القسم الأفقي يجب أن يكون أكبر مرتين ونصف من الضاغط (H) فوقه. وبالنسبة للمصطبة الحادة، فإن طولها يجب أن يكون أقل من ثلثي الضاغط (H) فوقها. وإن القطاع العرضي عند المصطبة قد يكون على شكل مستطيل أو شبة منحرف. وإذا كان من الضروري، فإن عرض الإسقاط قد يكون أقل من عرض القناة. ومع ذلك فإن أي تمدد في قطاع السريان قد يؤدي إلى ارتفاع أكبر في سطح المياه عند جانب السريان لمنبع التيار. وإن شكل السريان في اتجاه المصب يكون على هيئة متزر مائل.

الخطوات الحسابية لتقدير أبعاد التصميم للإسقاط ذو القطاع شبة المنحرف والمتزر المنحدر كما يلي:

• تعيين التصرف التصميمي (Q)، عرض القاع (B)، والميول الجانبية (Z)، وتقدير العمق الحرج (y_c). عند القمة أو الذروة من خلال التجربة أو الخطأ:

(٣,٤١) $$Q = \left(\sqrt{g}\right) \left[B\, y_c + Z\, y_c^{2}\right]^{1.5} / \left[B + 2\, Z\, y_c\right]^{0.5}$$

• افترض أن y_c يساوي تقريباً متوسط عمق المياه فوق المتزر المنحدر وتقدير التصرف لكل وحدة من عرض الذروة:

(٥,٣٤ أ) $$q\,(\text{average}) = Q / \left[B + Z\, y_c\right]$$

• تقدير y_1 عند بداية الميل من خلال التجربة أو الخطأ:

(٥,٣٤ ب) $$H + Z = y_1 + q^2 / \left(2\, g\, y_1^{2}\right) + \left(q^2\, n^2\, L\right) / \left(y_c^{3.333}\right)$$

حيث إن:

H = الضاغط فوق المصطبة، ويتضمن ضاغط سرعة الاقتراب.

Z = ارتفاع المصطبة فوق نقطة ارتكاز حاجز دعم المنحدر.

n = معاملماننق.

L = طول المنحدر.

وإذا كان مطلوب تعزيز التصفية فقد يتم هذا باستخدام المقدار $(y_c + y_1)/2$ بدلا من y_c في المعادلة رقم (٥,٣٤ ب) من أجل حساب القيمة المعدلة للمقدار y_1.

• حساب $V_1 = Q / [B\, y_1 + Z\, y_1^2]$ ، $F_1 = V_1 / [\sqrt{g\, y_1}]$

• فرض أن القفزة الموجودة على الأرضية الأفقية لاتجاه السريان نحو مصب التيار لنقطة ارتكاز حاجز الدعم للمئزر المنحدر وتقدير العمق التالي y_2 من المعادلة:

$$y_2 / y_1 = (1/2)\left[\sqrt{(1+8\,F_1^2)}-1\right] \qquad (٣,٥٢ ب)$$

• إقامة الأرضية الأفقية (بداية من نقطة الارتكاز لحاجز دعم المئزر المنحدر) عن عمق أكبر من y_2 أسفل تصميم تسريب المياه الزائدة والمرتفعة مثل أن تكون قمة الأرضية أسفل مجري القناة التي تجري في نفس اتجاه السريان نحو مصب النهر.

• الحصول على طول القفزة على المدى الأفقي من الجدول رقم (٣,١٥) ولابد من مراعاة أن يكون طول الأرضية الأفقية مساوياً لطول القفزة. ودائما تكون قوالب الأرضية أو المنحدر أو المسقط غير مطلوبة للإسقاطات الصغرى ذات ١-٢ م. وبالنسبة للإسقاطات الكبرى، مثل مساقط القديس أنتوني فإن الأحواض قد تستخدم (انظر الجزء من هذا الفصل الذي عنوانه "الأحواض وأجهزة تشتيت الطاقة").

• للأمان يتم استقطاع جزء عند نهاية المجري في اتجاه مصب النهر للأرضية الأفقية. وإن عمق الجزء المقتطع أسفل ارتفاع مصرف المياه الزائدة، R، يتم تقديره من خلال المعادلة:

$$R = 1.25 \times 1.337\ (q^2/f)^{1/3} \qquad (٥,٣٤ ج)$$

• بالنسبة للإنشاءات الخرسانية السابق إقامتها على ترب، لابد من فحص ميل المخرج وارتفاع الضواغط الخاصة بالأرضية الأفقية.

ميل المخرج هو خط الميل الهيدروليكي عند المخرج (مصب التيار) من الأرضية الخرسانية أو الاقتطاع. وعندما يكون ذلك الميل متزايداً فإن ذلك قد يؤدي إلى تكوين الأنابيب في مسام الترب المشبعة عند نهاية اتجاه السريان نحو المصب. وتحت هذه الظروف، يكون تسريب المياه أسفل أرضية الإنشاء كافية للاحتفاظ بالضاغط الهيدروليكي مرتفع لأعلى ومنع غسل حبيبات التربة عند المخرج. إن ذلك الفقد لحبيبات التربة قد يخلق فجوة أسفل وعند نهاية السريان في اتجاه المصب. وإن ميل المخرج (G_E) يعطي من خلال المعادلات التالية (Davis and Sorensen 1970 ; Zipparro and Hansen 1993):

$$G_E = (H/d) \left[1/\left(\pi \sqrt{\lambda}\right) \right] \quad (٥,٣٥ أ)$$

$$\lambda = \left[1 + \sqrt{\{1+\alpha^2\}} \right] / 2 \quad (٥,٣٥ ب)$$

$$\alpha = L/d \quad (٥,٣٥ ج)$$

حيث إن:

H = فرق الضاغط بين نهايات السريان لمنبع التيار واتجاه مصب التيار عن الأرضية الخرسانية أو الضاغط المؤدي إلى تسريب أسفل القاع.

d = عمق الاقتطاع أسفل تيار المصب عن قاع القناة أو سمك الأرضية أسفل القاعدة الأساسية للقناة إذا لم يكن هناك اقتطاع.

L = الطول الأفقي الكلي للقاع الذي يحدث تسريب تحته وذلك يشمل الأقسام الخاصة السريان لمنبع التيار عند الذروة وأسفلها.

إن القوة الهيدروليكية للتسريب عند المخرج يقابلها قوة مقاومة وهي وزن التربة المغمورة:

$$dp \cdot dA = dA \cdot dl \cdot (1-\varphi)(\gamma_s - \gamma)$$

أو

$$\gamma \ dh/dl = (1-\varphi)(\gamma_s - \gamma)$$

أو

$$dh/dl = (1-\varphi)(G-1) \qquad (٥,٣٦)$$

حيث إن:

dh/dl = خط ميل الضاغط عند المخرج (المقاوم).

dA = مساحة عمود التربة عند المخرج الذي يتم تطبيق القوة الهيدروليكية عليه.

dp = الضغط الهيدروليكي القائم عند المخرج.

dl = عمق التربة المغمورة (عمود التربة) المقاوم للقوة الهيدروليكية أي عمق الجزء المقتطع أو الأرضية أسفل قاع القناة.

γ = وحدة وزن المياه.

γ_s = وحدة وزن حبيبات التربة.

φ = النفاذية.

G = الجاذبية النوعية لحبيبات التربة.

من أجل تقليل الأنبوب المحتمل عند نهاية السريان تجاه المصب، هناك عامل أمان لابد من استخدامه لميل المخرج المعطي من خلال المعادلة رقم (٥,٣٦). باعتبار أن قيمة φ تساوي ٠,٣٥ وقيمة G تساوي ٢,٦، وقيمة G_E المقاومة من المعادلة رقم

(٥,٣٦) تساوي تقريبا ١,٠ . والقيم المقترحة لمعامل الأمان لحساب G_E في المعادلة رقم (٥,٣٥ أ) هي من ١/ ٤ إلى ١/ ٥ بالنسبة للحصى ومن ١/ ٥ إلى ١/ ٦ للرمل الخشن ومن ١/ ٦ إلى ١/ ٧ للرمل الناعم.

بالنسبة للعمق المتبع للمساحة المقتطعة أو البحيرة المقتطعة، d (الحماية المطلوبة للانجراف)، H، والميل المطلوب للمخرج، G_E، والطول المطلوب للأرضية، L، يمكن أن يتم تقديرها من خلال المعادلات من رقم (٥,٣٥ أ) إلى رقم (٥,٣٥ ج). وإذا كان طول المئزر المنحرف بالإضافة إلى طول الأرضية المقدرة من أجل تشتيت الطاقة أقل من L، فإنه قد يتم عمل توازن على جانب السريان للمنبع عند الذروة. لاحظ أنه قد لا يكون هناك ارتفاع على طول الأرضية في اتجاه السريان للمنبع عند الذروة متطلباً لسمك أسمي أو اعتباري للأرضية. لذلك، قد يكون مطلوب تقديم أقصي درجة من طول الأرضية على جانب السريان في اتجاه مصب التيار من أجل تشتيت الطاقة.

إن تسريب المياه أسفل بنية القاع يؤدي إلى ارتفاع عند قاع الأرضية يساوي الضاغط الهيدروليكي عند أي نقطة. ضغط الارتفاع عند أي نقطة قد يتم حسابه من خلال مفهوم لين للزحف. هناك تقدير أفضل يمكن الحصول عليه من خلال منحنيات التصميم لكسولا من (Davis and Sorensen 1970 ; Zipparro and Hansen 1993). إن طول مسار الزحف الموزون L_c يتم تقديره بأنه مجموع عمق كل الأوجه العمودية على طول مسار التسريب (الأكثر حدة عن ٤٥ درجة) وأيضا ١/ ٣ كل الأطوال الأفقية (المسطحة بشكل أكبر من ٤٥ درجة) للأرضية التي لا يمكن النفاذ فيها. إن متوسط الميل الهيدروليكي أسفل بنية الأرضة يمكن حسابه من:

$$i = H / L_c \qquad (٥,٣٧)$$

طول مسار الزحف الموزون المقدر للبنية الأرضية تم توضيحه في الشكل رقم (٥,٣ أ) ويمكن حسابه من:

$$L_c = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + 1/3\left[L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6\right] \quad (٥,٣٨)$$

إن الضاغط الهيدروليكي فوق قاع الأرضية عند النقطة A، الواقعة على مسافة x من نهاية اتجاه السريان نحو مصب التيار للأرضية يمكن حسابه من:

$$h = H\left(X/3 + \sum V.C.L\right)/ L_c \quad (٥,٣٩)$$

حيث إن:

$\sum V.C.L$ = مجموع طول مسار الزحف الرأسي الموزون لمصب التيار عند النقطة A.

سمك الخرسانة، d، المطلوبة لتحمل الضغط المرتفع عند تلك النقطة يمكن حسابه من:

$$\gamma\, h = \gamma_c\, d$$

أو

$$h = G_c\, d$$

أو

$$h - d = G_c d - d$$

أو

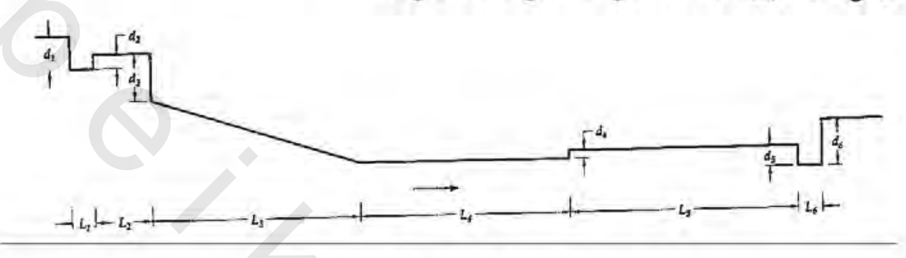
$$d = h/G_c = \left(h - d\right)/\left(G_c - 1\right) \quad (٥,٤٠)$$

حيث إن:

G_c = الوزن النوعي للخرسانة ويأخذ حوالي ٢,٤.

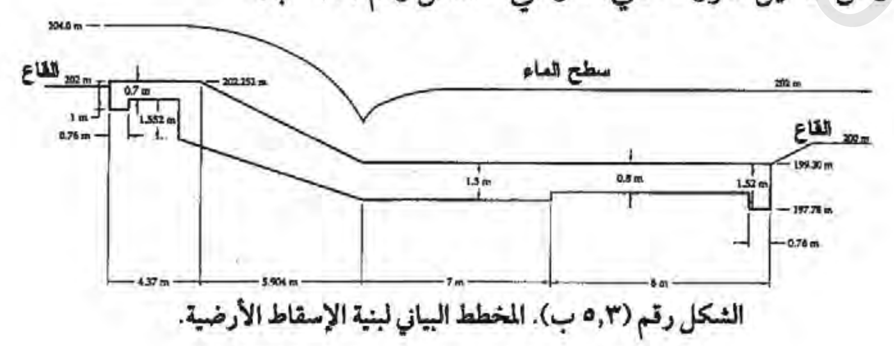
إن الصورة الأخيرة في المعادلة رقم (٥,٤٠) قد تكون مقنعة بسبب الإحداثي الرأسي الصادي بين خط الميل الهيدروليكي وقمة الأرضية (h-d) الذي يمكن تقديره

بسهولة. وإن قيم i المقترحة من أجل فحص ملائمة طول الزحف الموزون الكلي هي من ١/ ٣ إلى ١/ ٤ بالنسبة لخليط الرمال والحصى والجلمود، ١/ ٥ للرمال الخشنة، ومن ١/ ٦ إلى ١/ ٨,٥ للرمال المتوسطة النعومة.



الشكل رقم (٥,٣ أ). طول الزحف الموزون.

مثال رقم (٥,٧): قم بتصميم منشأ إسقاط ذو مئزر منحدر للحصول على ٢ م سقوط بين منبع التيار ومصب التيار، منسوب القاع يستطيع تحمل فيضان تصميمي يساوي ١٧٥ م³/ ث. وإن القناة ذات قطاع شبة منحرف عرض قاعها ٥٥ م والميول الجانبية لها ٢ أفقي: ١ رأسي وعمق المياه بها ٢ م. ومنسوب القاع عند منبع التيار وعند مصب التيار يساوي ٢٠٢ و ٢٠٠ م على الترتيب. إن مادة قاع القناة تتكون من الرمال الناعمة ذات d_{50} يساوي ٠,٣٠ مم. وعند بنية الإسقاط لابد من أن تكون القناة ذات تقلص بالنسبة لعرض القاع بحيث تكون ٤٢ م والميول الجانبية لها ٢ أفقي: ١ رأسي، افترض أن ميل المئزر ٢ أفقي: ١ رأسي، الشكل رقم (٥,٣ ب).



الشكل رقم (٥,٣ ب). المخطط البياني لبنية الإسقاط الأرضية.

obeikandl.com

الحل:

افترض أن هناك هدار ذو ذروة عريضة عند القطاع المتقلص، وباستخدام المعادلة رقم (٣,١٤)

$$175 = \sqrt{9.81}\ \left[42\,y_c + 2\,y_c^{\,2}\right]^{1.5} / \left[42 + 4\,y_c\right]^{0.5}$$

وبالتجربة والخطأ نجد أن y_c تساوي ١,١٩ م وبالتالي تكون

$$A = 42 \times 1.19 + 2 \times 1.19^2 = 52.81\,m^2$$

$$V_c = 175/\ \ 52.81 = 3.31\,m/s$$

$$q = 175/(42 + 2 \times 1.19) = 3.94\,m^3/s/m$$

طول المئزر المائل $L = 2\sqrt{(2^2 + 1)} = 4.472\,m$

الضاغط فوق المصطبة $H = 1.19 + 3.31^2/(2 \times 9.81) = 1.748\,m$

منسوب المصطبة $202 + 2.0 - 1.748 = 202.252\,m$

أو ٠,٢٥٢ م فوق سطح قاع المجرى عند منبع السريان.

والطول العريض للقمة في اتجاه التدفق $2.5 \times 1.748 = 4.37\,m$

قاع جدار المصطبة قد يكون على منسوب ٢٠٠ م أو أكثر من القاع لقناة السريان في اتجاه مصب التدفق. لذا فإن ارتفاع جدار المصطبة سيكون:

$$202.252 - 200.0 = 2.252\,m$$

تجاهل فاقد الضاغط عبر قناة التقلص (الانكماش).

بمساواة معادلة الطاقة بين منبع التدفق ومصب التدفق للذروة (وباعتبار أن n تساوي ٠,٠١٤، و y_1 تساوي عمق الماء عند بداية ميل المئزر) مقاسة فوق قاع القناة في اتجاه مصب التدفق. إذاً

$$1.748 + 2.252 = y_1 + 3.94^2/\left(2 \times 9.81\,y_1^{\,2}\right) + (3.94 \times 0.014)^2 \times 4.472/(1.19)^{3.333}$$

أو
$$4.0 = y_1 + 0.791/(y_1^2) + 0.0076$$
وبالتالي تكون
$$y_1 = 0.474\text{ m}$$

$$V_1 = 175/[42 \times 0.474 + 2.0 \times 0.474^2] = 8.6\text{ m/s}$$
و
$$F_1 = 8.6/\sqrt{(9.81 \times 0.474)} = 4.0$$
وأيضاً
$$y_2/y_1 = (1/2)\left[\sqrt{(1 + 8 \times 4.0^2)} - 1\right] = 5.18$$
وبالتالي
$$y_2 = 2.45\text{ m}$$

قم بجعل قمة الأرضية الأفقية على منسوب ١٩٩,٣٠ م [٢٠٢ م (منسوب سطح الماء عند المصب أو منسوب سطح الماء الخلفي) – ٢,٧٠ م (أكثر قليلاً من y_2)]. إن ذلك يؤكد أن منسوب سطح الماء الخلفي سوف يتيح تكوين القفزة بالقرب من قمة المتزر المنحدر.

طول القفزة (بافتراض أنها على الأرضية الأفقية، الجدول رقم ٥,١٣)

$$\text{Length of jump} = 5.8 \times 2.45 = 14.2\text{ m}$$

واحتياطياً تؤخذ بطول ١٥ م للمصطبة الأفقية.

معامل لاسي للطمي

$$\text{Lacey's silt factor} = 1.76\sqrt{0.30} = 0.96$$

وكذلك

$$R = 1.25 \times 1.337\,(3.94^2/0.96)^{1/3} = 4.22\text{ m}$$

بوضع منسوب القاع المقتطع في اتجاه المصب عند ٢٢٠ م (منسوب الماء الخلفي) – ٤,٢٢ م يساوي ١٩٧,٧٨ م، أو ١,٥٢ م أسفل قمة الأرضية الأفقية.

عمق الاقتطاع لقمة الأرضية الأفقية d

$$d = 199.30 - 197.78 = 1.52\text{ m}$$

وباستخدام G_E تساوي 1/6 وبالتعويض في المعادلة رقم (٥,٣٥ أ)

$$1/6 = (2/1.52)\left[1/\left(\pi\sqrt{\lambda}\right)\right]$$

أو

$$\lambda = 6.31 = \left[1+\sqrt{\{1+\alpha^2\}}\right]/2$$

و

$$\alpha = 11.6 = L/d$$

إن ذلك يعطي الطول المطلوب للأرضية $11.6\times 1.52 = 17.6\ m$

إن الطول الكلي للأرضية المتاح يكون أكبر من القفزة الأفقية، لذلك لا يكون هناك حاجة إلى تعديل. وكتقدير أولي، قم بافتراض أن سمك الأرضية الأفقية ٠,٨ م لذلك فإن عمق الاقتطاع أسفل القاع للأرضية الأفقية هو $1.52 - 0.8 = 0.72\ m$.

الطول الأفقي لمسار التسريب (الشكل رقم ٥,٣ ب) =

$$4.37 + 5.904 + 7 + 8 = 25.274\ m$$

الطول العمودي لمسار التسريب (الشكل رقم ٥,٣ ب) =

$$1 + (1-0.7) + 1.552 + (1.5-0.8) + (1.52-0.8) + 1.52 = 5.792\ m$$

طول الزحف اللين =

$$5.792 + 25.274/3 = 14.2\ m$$

التغير الكلي في الضاغط = $2\ m$

متوسط الميل الهيدروليكي $2/14.2 = 0.14$. وهذا يعتبر مقبولاً بالنسبة لمواد القاعدة الأساسية المتكونة من رمال ناعمة إلى متوسطة النعومة.

الارتفاع المتبقي عند ٨ م عند منبع التدفق من نهاية مصب التدفق للأرضية الخرسانية =

$$(8/3 + 1.52 + 0.72)\times 0.14 = 0.69\ m$$

السمك المطلوب للخرسانة باستخدام المعادلة رقم (٥,٤٠) =

$$0.69/1.4 = 0.5\ m$$

الارتفاع المتبقي عند ١٥ م عند منبع التدفق من نهاية مصب التدفق للأرضية الخرسانية=

$$(15/3 + 1.52 + 0.72 + 0.7)\times 0.14 = 1.11\ m$$

openkanal.com

السمك المطلوب للخرسانة باستخدام المعادلة رقم (٥,٤٠) =

$1.11/1.4 = 0.8\,\text{m}$

القناة سوف تحتاج إلى تصميمات الضيق والاتساع (انظر الجزء الذي عنوانه انتقالات القناة في هذا الفصل).

مثال رقم (٥,٨): قم بتصميم دكة حجرية بسقوط ١,٢٥ م ذات مئزر منحدر في قناة شكلها شبة منحرف ذات تصرف تصميمي ٢٢,٦٥ م³/ ث. إذا كان عرض القاع الأساسي ٦,١ م والميول الجانبية للقناة هي ٣ أفقي: ١ رأسي على الترتيب، وعمق المياه هو ١,٥٢ م. وقيمة d_{50} لمادة قاع القناة تساوي ٠,١٨ مم. بافتراض أن ميل المئزر يجب أن يكون ٣ أفقي: ١ رأسي.

الحل:

$$A = 6.1 \times 1.52 + 3 \times (1.52)^2 = 16.2\,\text{m}^2$$

$$V = 22.65/16.2 = 1.398\,\text{m/s}$$

ضاغط الطاقة فوق قاع القناة عند المنبع =

$$1.52 + (1.399)^2/(2 \times 9.81) = 1.62\,\text{m}$$

بافتراض أن المياه الساقطة تصطدم بنقطة ارتكاز حاجز دعم المئزر المنحدر بدون أي فاقد في الطاقة مع ارتطام المياه في القناة عن المصب، H (فوق نقطة الارتكاز)

$$H = 1.62 + 1.25 = 2.87\,\text{m}$$

طول المئزر المنحدر =

$$1.25 \times \sqrt{(3^2 + 1)} = 3.95\,\text{m}$$

كمحاولة أولى، افترض متوسط عمق الماء بين الذروة ونقطة الارتكاز لمئزر المنحدر تساوي ١ م وقيمة معامل ماننق n يساوي ٠,٠٤ للدكة الصخرية، وقم بتطبيق معادلة بقاء الطاقة بين قناة السريان عند المنبع ونقطة ارتكاز المئزر المنحرف.

obeikandi.com

$$2.87 = 3.95 \times \left(0.04 \times V_1^{\,2}\right)/\left(1.0^{4/3}\right) + V_1^{\,2}/(2 \times g)$$

إذا

$$V_1 = 7.077 \text{ m/s}$$
$$A = 22.65/7.077 = 3.2 = 6.1\,y_1 + 3\,y_1^{\,2}$$

إن الأساس 1 تشير إلى القيم عند نقطة الارتكاز قبل القفزة الهيدروليكية.

لذلك فإن

$$y_1 = 0.43 \text{ m}$$

متوسط العمق بين الذروة ونقطة الارتكاز للمئزر المنحدر =

$$(1.52 + 0.43)/2 = 0.975 \text{ m}$$

وهي تعتبر تقريباً مساوية للقيمة المفروضة وهي ١ م. لذلك فإن

$$F_1 = 7.077/\sqrt{(9.81 \times 0.43)} = 3.45$$

و

$$y_2/y_1 = (1/2)\ \left[\sqrt{\left(1 + 8 \times 3.45^2\right)} - 1\right] = 4.40$$

وبالتالي

$$y_2 = 1.89 \text{ m}$$

ومن الجدول رقم (٥,١٣)، طول القفزة من المئزر الأفقي =

$$5.4 \times 1.89 = 10.2 \text{ m}$$

إن مئزر الدكة الحجرية سوف يسبب زيادة في الاحتكاك وفاقد الطاقة أكثر من الأرضية الملساء الأفقية. مع ملاحظة أن طول المئزر الأفقي يساوي ١٠ م. قمة المئزر الأفقي قد يتم ضبطها عند أسفل قناة السريان تجاه المصب بمقدار

$$1.89 - 1.52 = 0.37 \text{ m}$$

ضاغط الطاقة فوق قاع القناة عند المنبع = H = ١,٦٢ م. طول المئزر الأفقي عند المصب = 2 H = ٣,٢٤ م.

معامل لاسي للطمي =

$$1.76\sqrt{0.18} = 0.75$$

عمق الجرف المحتمل أسفل السريان تجاه المصب (أنظر الجزء السابق الذي عنوانه الحماية من الانجراف عند نقطة ارتكاز الجانب) يساوي

$$1.5 \times 0.473 \times (22.65/0.75)^{1/3} - 1.52 = 0.69\ \text{m}$$

وعندما يكون عمق الاقتطاع يساوي ٠,٧ م عند المنبع وعند نهاية المصب لمئزر الدكة الحجرية أسفل قاع قناة المنبع والمصب، فإن حجم وسمك الدكة الحجرية يتم تقديرها باستخدام طرق قد تم ذكرها من قبل من خلال قيم y_1 ، V_1 المحسوبة سابقاً.

وعادة ما تكون الدكة الحجرية غير منفذة بشكل كافي لتقليل ضغط الارتفاع والأنابيب. هناك نسبة من الانسداد يجب أخذها في الاعتبار، كما أن الطول الكلي لمئزر الدكة الحجرية ويشمل الاقتطاعات يجب أن يتم فحصه من أجل السماح بمعدل آمن للتسريب وللتدرج الخاص بالخروج كما في المثال رقم (٥,٧).

السدود والخزانات Dams and Reservoirs

التخطيط والأبحاث Planning and Investigations

إن هذا الجزء يصف التخطيط والأبحاث التمهيدية المطلوبة لإقامة وتصميم السدود والخزانات. ويمكن تصنيف السدود والخزانات اعتماداً على الأهداف إلى أحادية الغرض ومتعددة الأغراض، واعتماداً على الحجم يمكن تقسيمها إلى صغرى ومتوسطة وكبري. إن المشروع أحادي الغرض يتم إقامته من أجل خدمة غرض واحد مثل الإمداد بالقدرة المائية وتوليدها، الإمداد بالمياه، التجديد والتحكم في الفيضان... إلخ). والمشروع متعدد الأغراض يتم تصميمه من أجل الوصول إلى غرضين أو أكثر مما سبق. والخطوات الشائعة المتبعة عند التصميم والأبحاث لمثل هذه المشروعات تشمل التالي:

١- التعرف على أهداف المشروع ضمن مقادير تقريبية (مثل إمدادات المياه لمجتمع محدد أو للأرض الزراعية، وتوليد القدرة المائية لتلبية طلب معين، والتحكم في الفيضان لحماية مجتمع محدد).

٢- اختيار موقع السدود والخزانات. ويتم هذا من خلال فريق عمل متعدد التخصصات يتكون دوماً من مهندس مصادر المياه وعالم الجيولوجيا ومهندس الجيولوجيا التقني والقائد المجتمعي، بالإضافة إلى أفراد إضافيين قد يتم إضافتهم اعتمادا على ظروف محددة. وبشكل عام يتم اختيار أكثر من موقع من الخريطة الطبوغرافية ويتم تقليل الاختيارات من خلال الزيارات الميدانية للمواقع. وتشمل البنود البارزة التي يجب ملاحظتها:

(أ) أن تكون الأساسات مناسبة للأرض والمحتوي الصخري لها أو جاذبية السد.

(ب) وجود وادي ضيق نسبياً من أجل إقامة السدود الكبرى كما ينبغي وكذلك للمناطق المغمورة بالماء.

(ج) أن يكون قاع الخزان مناسباً للحجم المطلوب تخزينه من المياه مع محاولة تجنب الفقد نتيجة التسريب.

(د) أن تكون مواد الإقامة متاحة وأن تكون على بعد مناسب ومعقول من الموقع (مثل مواد إقامة حشو السدود والصخور وتجمعات الخرسانة).

(هـ) قرب منطقة الخدمة (مثل المساحة الزراعية أو المجتمع الذي سيتم خدمته).

(و) أن يكون الموقع مناسبا لعمل قنوات تصريف الماء الفائض من السد.

obeikandl.com

٣- القياس والتحديد التمهيدي لنوع السد. ويمكن عمل التقدير التمهيدي لارتفاع وطول السد وسعة الخزان باستخدام الخرائط الطبوغرافية الكنتورية المتاحة للمنطقة. ويمكن استخدام هذا التقدير لتقليل عدد المواقع البديلة المذكورة في الخطوات السابقة. ويتم تحديد نوع السد المناسب (مثل، الأرض، الأرض والردم، والجاذبية) لكل موقع واعد عن طريق فريق متعدد التخصصات باستخدام التحليلات الجيولوجية وتحليلات تغير خصائص التربة والتحليلات الاقتصادية التمهيدية.

٤- المسح التمهيدي. يتم عمل عمليات المسح الميدانية التمهيدية للمواقع الواعدة المختارة. وهي تشمل عمليات المسح الجيولوجية التمهيدية لتقييم أحوال الصخور والتربة لإقامة السد والخزان وقنوات تصريف المياه الفائضة ومنطقة الإمداد، وعمليات المسح الطبوغرافي لتقدير سعة الخزان مع الارتفاعات المختلفة للسد. ويشمل المسح الطبوغرافي القطاعات العرضية عبر الوادي الذي يغطى منطقة الخزان المحتملة. وتستخدم هذه القطاعات العرضية لإعداد جداول تقييم المنطقة وجداول تقييم السعة أو لعمل منحنيات الخزان.

٥- الأبحاث الهيدرولوجية. وهي تشمل تخطيط حدود المواقع المختارة وتقدير مساحات الصرف لكل موقع من خلال الخرائط الطبوغرافية المتاحة لمجاري سريان المياه الخاصة بكل موقع. ويتم تجميع البيانات المتاحة حول التدفقات الخاصة بالمجرى المائي الذي يخطط لأن يعمل كمصدر للمياه وبيانات نزول المطر الخاصة بعدّادات سقوط المطر في مجاري سريان الماء الخاصة بها ويتم تحديد النواقص الموجودة في البيانات. وفي هذا الوقت، يتم إعداد خطة المراقبة الهيدرولوجية التي تشمل تركيب عدّادات التيار وسقوط المطر عند مواقع مناسبة. ويتم جمع بيانات تدفق المجرى المائي

ونزول المطر المتاحة لمحطات المراقبة في مجاري سريان المياه في الجوار القريب، بالتزامن مع بيانات عن الخصائص الهيدروليكية لمجاري سريان الماء الخاصة بالموقع، وموقع ومعلومة وجود عدّادات للتيار، وموقع وارتفاع عدّادات سقوط المطر الموجودة بالفعل.

٦- التحليلات الهيدروليجية، وهي تشمل خطوط وطرق الفيضان وحساباتها من أجل تعيين الارتفاع والعرض المناسب للسدود ومجاري المياه الفائضة.

إن سعة الخزان يتم تقسيمها من خلال العديد من الأجزاء:

١- التخزين الميت أو الغير فعال: السعة عند قاع الخزان التي تحتفظ بتراكم الرواسب أثناء الفترة المتوقعة للمشروع.

٢- تخزين الإبقاء: التخزين بين قمة بركة التخزين الميت وارتفاع سطح مياه الخزان الطبيعي. وإن ذلك التخزين يكون مسموحاً به للعديد من المشروعات مثل الإمداد بالمياه وتوليد القدرة المائية.

٣- تخزين ضبط الفيضان: التخزين بين قمة بحيرة الحفظ أو التخزين وأقصي مستوى للمياه مسموح به في الخزان. وهذا التخزين يتم الحفاظ عليه من أجل التحكم في الفيضان. ويظل غير مستخدماً وفارغاً معظم الأوقات لحين أن يتم استخدامه من أجل التخزين المؤقت لمياه الفيضان أثناء أحداث العواصف.

٤- تخزين الجزء الظاهر أو الفائض: التخزين المتاح في الجزء الظاهر من السد يكون متاحاً من خلال الحافة الفارغة للسد بين قمة بركة التحكم في الفيضان وقمة السد. هذا التخزين لا يستخدم إلا في الظروف الغير عادية. وإنه يتم الحفاظ عليه من أجل أن يمنع الفيضان فوق السد بسبب موجة الرياح والموجات الناتجة عن انزلاق

التربة المحتملة التي تنتج عن الأمواج وأحوال الفيضان الزائدة الأكبر من التصميم المعد لذلك الغرض.

ترسبات الخزان Reservoir Sedimentation

هناك طرق لتقدير الترسبات الناتجة من تجميع الأمطار ومعدل تخزين الترسبات تتضمن:

١- عمليات مسح الأعماق البحرية دورياً في حالة وجود خزان ويتم عادة كل عشر سنوات أو أقل.

٢- القياس الدوري للترسيب لمعرفة الرواسب الكلية المتدفقة إلى الخزان الموجود أثناء أحداث العاصفة وفترات ذوبان الجليد.

٣- تقدير حمل الرواسب من خلال المعادلة العالمية لفواقد التربة (USLE) ومعدل توزيع الترسبات (SDR) بالنسبة للمخزون المقترح أو عند عدم توفر البيانات.

٤- التقدير اعتماداً على معادلات الارتداد في المناطق المختلفة.

٥- التقدير من خلال بيانات الخزانات الأخرى (Chow 1964; USDA 1969).

إذا كانت معلومات تصرف التدفقات وأحمال الرواسب للخزانات الأخرى في النطاقات المناخية والهيدرولوجية والجيومورفية (مظاهر سطح الأرض) المتشابهة متاحة، فإن معادلة الارتداد بالشكل التالي يمكن تطويرها:

$$Q_s = a\ Q^b \qquad (٥,٤١)$$

حيث إن:

Qs = معدل تدفق الترسبات المحمولة (طن/ يوم).

Q = التصرف (م٣/ ث).

b , a = معاملات الارتداد.

المعادلة التالية هي معادلة الانحسار (الارتداد) وهي شائعة الاستخدام للخزان في المناخ شبه القاحلة (USBR 1987):

$$Q_s = 1098 \ A^{-0.24} \qquad (٣,٨٤)$$

حيث إن:

Q = الترسبات المترسبة في الخزان (م٣/ كم٢/ عام).

A = مساحة منطقة تجميع المياه (كم٢).

هناك معادلات تجريبية أخرى لتقدير وزن الرواسب المحتمل ترسيبها في الخزان مثل معادلة ديندي-بولتون Dendy-Bolton الموضحة بأسفل في المعادلة رقم (٥,٤٢) والمعادلة رقم (٥,٤٣) (USACE1989):

• بالنسبة لمجارى المياه التي يكون فيها معدل الجريان السطحي السنوي يساوي أو أقل من ٥ سم

$$T = 292.32 \ R^{0.46} \ [1.537 - 0.26 \ \log A] \qquad (٥,٤٢)$$

حيث إن:

T = كمية الترسبات المحتمل ترسبها في الخزان (طن/ كم٢/ عام).

R= المتوسط السنوي للجريان السطحي (سم).

• بالنسبة لمجاري المياه التي يكون فيها معدل الجريان السطحي السنوي أكبر من ٥ سم

$$T = 689.58 \ [\exp(0.02165 \, R)] \ [1.537 - 0.26 \log A] \qquad (٥,٤٣)$$

المعادلتين رقم (٥,٤٢) ورقم (٥,٤٣) متطابقتان مع المعادلتين رقم (٣,٨٢) ورقم (٣,٨٣) فيما عدا أن R يتم التعبير عنها بالسنتيمتر.

معدلات الترسيب النموذجية للخزانات في المناطق الرطبة تتراوح من ١٩٠ إلى ٧١٤ م٣/ كم٢ لمنطقة صرف ذات مساحة ٢٦ كم٢، ومن ٨٦ إلى ٣٣٣ م٣/ كم٢ لمنطقة صرف ذات مساحة ١٢٩٥٠ كم٢. ومعدلات الترسيب المماثلة لخزانات في المناطق شبه الرطبة تتراوح من ٣٨١ إلى ١٦٦٧ م٣/ كم٢، ومن ١٣٤ إلى ٤٧٦ م٣/ كم٢ على التوالي (Chow 1964).

معدلات الترسيب لبعض الخزانات ذات معدلات الترسيب المرتفعة والمنخفضة لكل كيلومتر مربع من مساحة الصرف مبينة في الجدول رقم (٥,٧) (Golze 1977).

الجدول رقم (٥,٧). معدلات الترسيب بالخزان.

الموقع	مساحة الصرف (كم٢)	معدل الترسيب (طن/ كم٢/ عام)
شمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية	٣٧ – ٨٠٨	٢١٧ – ٧٦
جنوب شرق الولايات المتحدة الأمريكية	١١,٧٦ – ٢٣٥٠٩	٧٨٣ - ٤١
وسط غرب الولايات المتحدة الأمريكية	١١,٧٦ – ١١٩٣٠	٦٩٣ - ٩٠
جنوب وسط الولايات المتحدة الأمريكية	٥٩,٨ – ٢٥٢,٥	١٣٣٣ - ٩٦
السهول الشمالية العظمى بالولايات المتحدة الأمريكية	٣,٦ – ١١٩٩	١٨٦٣ - ٤٣
جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية	٢٨٢,٣ – ١٢,٧	٨٥٧ - ٥١
شمال غرب الولايات المتحدة الأمريكية	٤٨١,٧ – ١٠,٦	٣٧٥ - ١١

المصدر: (Chow 1964) .

مثال رقم (٥,٩): قد تم عمل إحصائية ومسح المسار الخاص بخزان فوجد أن المعدل الكلي للترسيب ٤١٠٠٠ م٣ في ٦٢ عام. وبناءاً على توزيع حجم جزيئات الرواسب في الجوار القريب من خط الساحل للخزان تم تقدير نسب تكوين الرواسب فكانت

٤١٪ من الطين و ٢٢٪ من الطمي و ٣٧٪ من الرمال مع وحدات أساسية من الوزن ٥٦١، ١١٣٨، ١٥٥٤ كجم/ م٣ على التوالي. والبيانات الأخرى الخاصة هي:

- سعة الخزان = ٤٧٤٨٢١ م٣.
- مساحة الصرف = ١٨,٨ كم٢.
- معدل تدفق الجريان السطحي السنوي = ٤٢٥٤٨٨٩ م٣/ سنة.
- طول مجرى سريان مياه الأمطار = ٧٣٢٢ م.
- المتوسط اليومي للتدفق = ٥١ إلى ٤٥٣ ل/ ث.
- تقدير المعادلة العالمية للفقد في التربة بسبب انجراف التربة من مجرى سريان المياه USLE = ٥٩٧٨ طن/ سنة.

معادلة انحسار المياه المتدفقة وحمل الرواسب المعلقة هي:

$$Q_s = 14.74 \ Q^{1.7853} \qquad (٥,٤٤)$$

حيث إن:

Qs = كمية الترسيب المعلق (طن/ يوم).

Q = متوسط معدل التدفق اليومي (م٣/ ث).

باستخدام البيانات السابقة قدر معدل ترسيب الرواسب في الخزان كل عام (طن/ عام) ومعدل الرواسب الذي يمكن دخوله للخزان (طن/ عام). ويمكن أيضا استخدام طرق افتراضية أخرى لتقدير معدل ترسيب الرواسب في الخزان.

الحل:

١ - كمية الترسبات باستخدام معلومات مسح الأعماق، المكون الأولي لوحدة وزن الرواسب =

$$561 \times 0.41 + 1138 \times 0.22 + 1554 \times 0.37 = 1055.4 \ \text{kg/m}^3$$

وحدة الوزن من الرواسب بعد ٦٢ عام من الترسيب يمكن أن تقدّر باستخدام معادلات ميللر (USBR 1987):

$$K_a = K_s\,p_s + K_m\,p_m + K_c\,p_c \qquad (٥,٤٥)$$

حيث إن:

K_c ،K_m ،K_s: معاملات افتراضية قيمها صفر، ٢٩، ١٣٥.

P_c ،P_m ،P_s: نسبة الرمل، والطمي، والطين على التوالي.

K_a: معامل المتوسط الموزون للمادة المترسبة.

باستخدام البيانات المعطاة:

$$K_a = 0.0 + 29 \times 0.22 + 135 \times 0.41 = 61.73$$

إذا

$$W_T = W_i + 0.4343\,K_a\,[\{T/(T-1)\}\,\ln(T) - 1] \qquad (٥,٤٦)$$

حيث إن:

W_T = وحدة الوزن للترسبات (كجم/ م٣) بعد T من السنوات.

W_i= وحدة الوزن الأولية (كجم/ م٣).

لذلك ولقيمة $T = 62$ yr فإن

$$W_T = 10554.4 + 61.73 \times 0.4343\ [\{62/(61)\}\,\ln(62) - 1]$$

$$W_T = 1141\,\text{kg/m}^3$$

لذلك فإن معدل الترسيب المتوسط للخزان يساوي

$$41000 \times 1141/(62 \times 1000) = 755\ \text{t/yr}$$

وهذا لا يمثل الترسيب الكلي الفعلي بالخزان لأن كفاءة الحجز للخزان قد لا تكون ١٠٠٪. فإن كفاءة الحجز E تعرف بأنها كمية الرواسب الفعلية المترسبة في الخزان منسوبة لكمية الرواسب الكلية التي تدخل الخزان.

ويمكن تقدير كفاءة الحجز للخزان باستخدام طرق كل من براون، برون، وتشرشل (USACE 1989). ومعادلة براون تعطي

$$E = 1 - [1/\{1 + 0.0021(K\,C/W)\}] \quad (٥,٤٧)$$

حيث إن:

K = معامل يتراوح من ٠,٠٤٦ إلى ١,٠ وبقيمة متوسطة ٠,١.

C = سعة الخزان = ٤٧٤٨٥١ م³.

W = مساحة الصرف = ١٨,٨ كم².

تلك المعطيات تعطي كفاءة حجز E تساوي ٠,٨٤

وقد قامت USBR بتطوير منحنيات كفاءة الحجز اعتماداً على معادلات برون وتشرتشل. وكفاءات الحجز التقريبية في حالة النسب المختلفة من C/I موضحة في الجدول رقم (٥,٨)، حيث I = متوسط التدفق الداخل سنوياً (م³).

ونسبة C/I الخاصة بهذا الخزان تساوي $0.11 = 474821/4254889$ وبالتالي فأن كفاءة الحجز لبرون = 0.87 وكفاءة الحجز لتشرشل = 0.73. ويمكن قبول متوسط كفاءة الحجز والتي تقدر 0.81.

معدل الرواسب الذي يدخل الخزان =

$$755/0.81 = 932\ t/yr$$

٢- حصيلة الرواسب باستخدام حمل الرواسب المتدفق: بفرض أن نقل حمل القاع يقدر بمقدار ١٥٪ من الحمل المعلق (Simons and Senturk 1992)، ويمكن تعديل المعادلة رقم (٥,٤٤) إلى:

$$Q_T = 16.95\ Q^{1.7853} \quad (٥,٤٨)$$

حيث إن:

Q_T = حمل الرواسب اليومي الكلي الذي يدخل الخزان (طن/ اليوم).

openkanal.com

$$Q_T = 16.95 \times (0.051)^{1.7853} = 0.0835 \text{ t/day} = 30.5 \text{ t/yr}$$

و

$$Q_T = 16.95 \times (0.453)^{1.7853} = 4.123 \text{ t/day} = 1505 \text{ t/yr}$$

متوسط الرواسب التي تتدفق إلى الخزان =

$$(30.5 + 1505)/2 = 765 \text{ t/yr}$$

وبفرض أن E تساوي ٠,٨١، فإن الرواسب التي تتوقع أن تترسب في الخزان =

$$0.81 \times 765 = 622 \text{ t/yr}$$

٣- حصيلة الرواسب اعتماداً على USLE في هذه الحالة:

الرواسب المترسبة في الخزان = انجراف الرواسب من مجرى سريان المياه (بتقدير

$$E \times SDR \times (USLE \qquad (٥,٤٩)$$

حيث إن:

SDR = معدل تسليم الرواسب، التي تعلل الرواسب المترسبة في أجزاء من مسار المياه أو مجرى السريان أثناء عملية النقل إلى الخزان.

ولتقدير متوسط حمل الرواسب السنوي الذي يصل الخزان، يجب أن يضرب تقدير USLE في SDR.

بعض الطرق العملية لتقدير SDR معطاة أدناه (USACE 1989; Vanoni 1977):

$$SDR = 0.30\ (A)^{-0.20} \qquad (٣,٨١)$$

$$SDR = 0.76\ (L)^{-0.23} \qquad (٥,٥٠)$$

حيث إن:

A = مساحة مجرى سريان المياه = ١٨,٨ كم٢

L = طول مجرى سريان المياه = ٧٣٢٢ م.

وتعطى المعادلات رقم (٣,٨١) ورقم (٥,٥٠) قيم SDR = ٠,١٧، و ٠,١٠، على الترتيب. وبالإضافة إلى هذه المعادلات العملية، فقد تم كذلك تطوير الرسوم

البيانية بين SDR ومجرى سريان المياه عن طريق وكالات عديدة (مثل، USACE 1989).
وفي هذه الحالة، تكون قيمة SDR المتوسطة المقبولة حوالي ٠,١٤.
وبالتالي فإن الرواسب السنوية المتدفقة إلى الخزان =

$$5978 \times 0.14 = 837 \ \text{t/yr}$$

وباستخدام E تساوي ٠,٨١، فإن حمل الرواسب المتوقع أن يترسب في الخزان =

$$837 \times 0.81 = 678 \ \text{t/yr}$$

٤- معدل ترسيب الرواسب باستخدام معادلة دندي-بولتون (USACE 1989): متوسط الجريان السطحي السنوي:

$$R = 4{,}254{,}889 / (18.8 \times 1{,}000 \times 1{,}000) = 0.226 \ \text{m} = 22.6 \ \text{cm}$$

إذن، وباستخدام المعادلة رقم (٥,٤٣):

$$T = 686.58 \left[\exp(0.02165 \times 22.6)\right]\left[1.537 - 0.26 \times \log(18.8)\right]$$
$$= 1350 \ \text{t/km}^2 / \text{yr}$$

وفي حالة: A تساوي ١٨,٨ كم٢، فإن معدل الترسيب في الخزان:

$$1350 \times 18.8 = 25386 \ \text{t/yr}$$

وبفرض أن وحدة الوزن من الرواسب المترسبة تساوي $1100 \ \text{kg/m}^3$، يعطي هذا ترسيباً كلياً (في ٦٢ سنة) يقدر بحوالي:

$$(25{,}386 / 1.1) \times 62 = 1{,}430{,}000 \ \text{m}^3$$

هذا المقدار يساوي حوالي ثلاثة أضعاف سعة الخزان ويتضح أنه غير واقعي. فمن الواضح أن هذه الطريقة لا تقبل التطبيق في هذا الموقع.

٥- معدل ترسيب الرواسب باستخدام معادلة USBR (USBR 1987):
باستخدام المعادلة رقم (٣,٨٤):

$$Q_s = 1{,}098 \left(18.8^{-0.24}\right) = 543 \ \text{m}^3 / \text{km}^2 / \text{yr}$$

في حالة: A تساوي ١٨,٨ كم٢، فإن معدل الترسيب في الخزان:

$$543 \times 18.8 = 10{,}209 \ \text{m}^3 / \text{yr}$$

ويؤدى إلى ترسيب للرواسب بمقدار $632,958 \ m^3$ في ٦٢ سنة، وهذا المقدار أكبر من سعة الخزان. فمن الواضح أن هذه الطريقة لا تقبل التطبيق أيضاً في هذا الموقع.

نتائج هذه الحسابات تقترح أن يكون معدل الترسيب للخزان حوالي من ٦٢٢ إلى ٧٥٥ طن/ السنة.

الجدول رقم (٥,٨). كفاءة الترسيب في الخزان.

C/I	كفاءة الترسيب لبرني	كفاءة الترسيب لتشرشل
٠,٠١	٠,٤٥	٠,٤٧
٠,١٠	٠,٨٦	٠,٧٢
١,٠	٠,٩٨	٠,٨٨
١٠,٠	٠,٩٨	٠,٩٦

المصدر: (USBR 1987).

ارتفاعات موجة الرياح وتصميم الحماية من الانجراف

Wind Wave Heights and Erosion Protection Design

يشمل الجزء الظاهر من الخزان مجموع بنية (قامة) الموجة ونمو الموجة. وبنية الموجة هي إمالة سطح الماء في الخزان التي يتسبب فيها حركة الرياح المستحثة من سطح الماء في اتجاه الضفة. ونتيجة لذلك فإن ارتفاع مياه سطح الخزان على الجانب الذي يقع أسفل الرياح يعتبر أكثر ارتفاعاً من ارتفاع المياه المعتاد ويكون ارتفاع المياه أقل من الجانب الذي يقع أعلي ارتفاع الرياح. وبشكل عام، تكون بنية موجة الرياح أكبر في الخزانات الضحلة ذات القيعان الوعرة. حسابات نمو الموجة تشمل أيضاً مكونات البنية، ماعدا في المواقع التي تتضمن تضاريس ضفة معقدة (USACE 1984). ونمو الموجة هو الارتفاع الرأسي الذي سوف ترتفع إليه الموجة على المنحدر. وهو دالة

openkanda.com

ارتفاع الموجة، وطول الموجة، وميل حاجز الدعم، ونفاذية وخشونة السطح على الامتداد الذي سترتفع إليه الموجة. ارتفاع الموجة المستخدم لتقدير الجزء الظاهر وقوى الموجة على الأبنية هو ارتفاع الموجة المهم H_s. وهو متوسط ارتفاع ثلث الموجات الأكثر ارتفاعاً. فترة الموجة الكبيرة هي الفترة المتوسطة من ١٠ إلى ١٥ موجة بارزة متعاقبة. وهو تقريباً متوسط كل الموجات التي تكون قيعانها في الأسفل وقممها أعلى من مستوى المياه المتوسط. وعادةً:

H_{10} = متوسط ارتفاع أعلى ١٠٪ من جميع الموجات.

$$H_{10} \cong 1.27\ H_s \qquad (٥,٥١)$$

H_1 = متوسط ارتفاع أعلي ١٪ من جميع الموجات.

$$H_1 \cong 1.67\ H_s \qquad (٥,٥٢)$$

$$H_s = \sqrt{(2)} \cdot H_{rms} \qquad (٥,٥٣)$$

H_{rms}= متوسط الجذر التربيعي لارتفاع الموجة.

$$H_{rms} = \sqrt{\left[(1/N)\ \sum\ H_j^2\right]} \qquad (٥,٥٤)$$

حيث إن: N = عدد الموجات المسجلة، والمجموع من $j = 1$ إلى $j = N$.

إن المتغير الأكثر تأثيراً على خصائص موجة الرياح هو طول سطح المياه على امتداد اتجاه الرياح، والمعروف بطول الجلب أو الاستحضار F. ويعرّف طول الجلب موضعياً على أنه نطاق المنطقة تكون فيها سرعة واتجاه الرياح ثابتة تقريباً. والإجراء المقترح لتقدير طول الجلب F، يكون عن طريق إنشاء تسعة أشعة من النقطة موضع الاهتمام بفواصل تقدر بـ ٣ درجات ومد هذه الأشعة حتى تتقاطع مع الضفة. ويتم أولاً مد الشعاع المركزي حتى أبعد نقطة على الخط الساحلي المقابل على طول اتجاه الرياح السائدة. ثم يتم رسم أربع أشعة على كلا الجانبين من الشعاع المركزي بدءاً من

نفس النقطة. ويتم قياس طول كل شعاع ويؤخذ متوسطها حسابياً. وعند الضرورة، يمكن استخدام تباعدات بزوايا تختلف عن ٣ درجات (USACE 1984).

وفيما يلي خطوات لتقدير ارتفاع الموجة المهم (H_s أو H_m):

١- قم بتقدير طول الجلب F (م).

٢- قم بتقدير سرعة الرياح فوق سطح الأرض U_{land} (م/ ث)، وعلى ارتفاع حوالي ١٠م فوق سطح الأرض وتصميم الفترة الزمنية لدوام الرياح t_d، بالنسبة للرياح عند الموقع.

٣- قم بتحويل سرعة الرياح فوق الأرض إلى سرعة الرياح فوق المياه U_{water} (م/ ث)، باستخدام عوامل الضبط الافتراضية المشار إليها في الجدول رقم (٥,٩). وإذا كانت F أقل من ١٦ كم، قم باستخدام U للمياه مقسومة على U للأرض = ١,٢ ($U_{water}/U_{land} = 1.2$).

٤- قم بحساب معامل إجهاد الرياح (سرعة الرياح المعدلة):

$$U_A = 0.71\, U_{water}^{1.23} \qquad (٥,٥٥)$$

الجدول رقم (٥,٩). نسبة سرعة الموجة فوق سطح الماء إلى سرعة الموجه فوق سطح الأرض.

سرعة الرياح (م/ ث)	U_{water} / U_{land}
٥	١,٤٥
٧,٥	١,٢٧
١٠	١,١٣
١٥	١,٠
٢٠	٠,٩٨
٢٥	٠,٩٧

المصدر: (USACE 1987).

٥- قم بافتراض موجات عميقة للمياه وقم بتقدير معايير الأمواج المقيدة بقيمة طول الجلب F.

H_m = ارتفاع الموجة (م).

$$H_m = 5.122 \times 10^{-4} \times U_A\ F^{1/2} \qquad (٥,٥٦)$$

T_m = فترة الموجة (ث).

$$T_m = 6.238 \times 10^{-2} \times (U_A\ F)^{1/3} \qquad (٥,٥٧)$$

t = مدة استمرارية الموجة (ث).

$$t = 32.15\ (F^2 / U_A)^{1/3} \qquad (٥,٥٨)$$

إذا كانت t المحسوبة أقل من t_d فإن ارتفاع الموجة والفترة الزمنية تعتبر مقيدة بقيمة طول الجلب F ويتم إعادة تعيينها من المعادلات رقم (٥,٥٦)، ورقم (٥,٥٧) على الترتيب. أما إذا كانت t أكبر من t_d، فإنه لن يتم الوصول إلى قيمة طول الجلب المحدودة لقيمة t_d المعطاة. وفي هذه الحالة، ضع $t = t_d$، واحسب طول الجلب المحدد F_1، باستخدام المعادلة رقم (٥,٥٨)، واستخدم هذه القيمة في المعادلات رقم (٥,٥٦)، ورقم (٥,٥٧) لتقدير ارتفاع الموجة وفترة الموجة.

٦- اختبر ما إذا كانت هذه القيم أقل من أو تساوى القيم كاملة التطوير:

$$H_m \le 2.482 \times 10^{-2} \times U_A^{\ 2} \qquad (٥,٥٩)$$

$$T_m \le 0.830\ \ U_A \qquad (٥,٦٠)$$

$$t \le 7296\ \ U_A \qquad (٥,٦١)$$

وإلا استخدم القيم التي يتم تطويرها بالكامل والمعطاة من المعدلات رقم (٥,٥٩)، ورقم (٥,٦٠)، ورقم (٥,٦١).

obeikandl.com

٧- قم بحساب طول الموجة L_o (م):

$$L_o = 1.56\ T_m^{\ 2} \qquad (٥,٦٢)$$

٨- قم بفحص والتأكد ما إذا كانت الموجات عميقة أو انتقالية أو ضحلة:

إذا كانت $d/L_o \succ 1/2$ كانت موجة المياه عميقة.

وإذا كانت $1/25 \prec d/L_o \prec 1/2$ كانت موجة المياه انتقالية.

أما إذا كانت $d/L_o \prec 1/25$ كانت موجة المياه ضحلة.

حيث إن:

d = متوسط العمق من قاع الخزان من أجل أن يستمر مستوى المياه ثابت على طول الجلب (م).

٩- إذا كانت الموجات في مياه ضحلة، استخدم المعادلات التالية لتقدير معايير الموجة:

$$H\, g/U_A^{\ 2} = 0.283\ \tanh\left[0.530\ \{g\, d/U_A^{\ 2}\}^{3/4}\right] \tanh\left[0.00565\ \left(F\, g/U_A^{\ 2}\right)^{1/2} \Big/ \tanh\left\{0.530\ \left(g\, d/U_A^{\ 2}\right)^{3/4}\right\}\right] \qquad (٥,٦٣)$$

$$T\, g/U_A = 7.54\ \tanh\left[0.833\ \{g\, d/U_A^{\ 2}\}^{3/8}\right] \tanh\left[0.0379\ \left(F\, g/U_A^{\ 2}\right)^{1/3} \Big/ \tanh\left\{0.833\ \left(g\, d/U_A^{\ 2}\right)^{3/8}\right\}\right] \qquad (٥,٦٤)$$

$$g\, t/U_A = 537\ \ (g\, d/U_A)^{7/3} \qquad (٥,٦٥)$$

يتم عمل حسابات نمو الموجة لميول السد المختلفة، وأعماق المياه فوق القاعدة، وأنواع خشونة سطحية للضفة باستخدام المنحنيات البيانية التجريبية المطورة من قبل (USACE (1984. وللتقديرات التمهيدية، فإن نمو الموجة على جدار الدكة ذات ميل

٢ أفقي: ١ رأسي من ميل السد يمكن أن تقدر على أنها حوالي ١,٧ مرة من ارتفاع الموجة المهم.

ومن المفترض بشكل شائع أن بنية (هضبة أو جدار من الدبش) يمكن أن تتعرض للهجوم عن طريق الموجات المتكسرة إذا كانت $d_s \leq 1.3\,H$، حيث d_s = عمق المياه فوق طرف البنية، و H = ارتفاع موجة التصميم. وتعرّف نقطة التكسر بأنها التي يظهر عندها الزبد أولاً، أو عندما يصبح الوجه الأمامي من المياه رأسياً أولاً، أو حيث تبدأ قمة الزبد أولاً في التموّج على سطح الماء. وتكون المنحنيات البيانية التجريبية لتقدير عوامل المضاعفة لقيمة H للحصول على ارتفاع الموجة المتكسرة، متاحة فقط بالنسبة للميول ١٠ أفقي:١ رأسي أو الأشكال المسطحة بشكل أكبر. وإذا كان كسر الموجة مشكوك فيه فإنه قد ينصح باستخدام عامل الأمان للميول عن طريق الحكم اعتماداً على المنحنيات البيانية التجريبية المتاحة (USACE 1984).

إن حجم الدكة الصخرية أو الصخر أو أي مواد تسليح أخرى قد تكون مطلوبة لحماية حاجز السد أو ضفة البحر أو البحيرة ضد قوى موجة الرياح عن طريق:

$$W = \gamma_s H^3 / \left[K_D \, (G-1)^3 \, \cos\theta \right] \qquad (٥,٦٦)$$

حيث إن:

W = وزن وحدة التسليح والتي أكثر من ٥٠٪ منها أنعم من ناحية الوزن (كجم).

γ_s = وحدة الوزن لمادة التسليح (كجم/ م٣).

G = الوزن النوعي لمادة التسليح.

θ = زاوية ميل الجانب مع الاتجاه الأفقي.

K_D = معامـل الاسـتقرار الـذي يتغـير وفـق وحـدة التـسليح مثـل الـصخور والقوالب الحجرية، خشونة وحدة سطح مادة التسليح، وحدة الحـواف، ودرجة التلاصق مع وحدات التسليح المجاورة.

للموجـات غـير المتكـسرة، فإنـه يمكـن اسـتخدام K_D تـساوي ١,٩ في حالـة الأحجار المستخرجة المستديرة الملساء، وتساوي ٢,٣ بالنسبة للأحجـار المـستخرجة الخشنة الزاوية مع توافر عوامـل مناسـبة مـن الأمـان. إن القـيم المنـاظرة للموجـات المتكسرة قد تكون ١,١، ١,٣ على الترتيب. ويلاحظ أن القوالب الحجرية الزاوية قـد تميل إلى أن تصبح مستديرة بعض الـشيء بمـرور الوقـت. وبالنـسبة للدكـة الحجريـة المتدرجة يكون أقصي وزن للصخر المدرج W(max) يساوي 4W وأيضا الحـد الأدنـى لوزن الصخر التدريجي W(min) يساوي 0.125W. وبـافتراض أن وحـدات التـسليح الفردية تكون تقريباً كروية الشكل فإن قطر وحدة التسليح قد يتم حسابه من خلال

$$d\ (m) = 1.24\left(W/\gamma_s\right)^{1/3} \quad (٥,٦٧)$$

إذا تم وضع وحدات التسليح في طبقات، فإن أكثر الوحدات خشونة يجب أن يتم وضعها في الطبقة العلوية (الغطاء). وإن أحجام الصخور في الطبقات المختلفة قد يتم تصميمها وبالتالي فإن d_{15} لطبقة الغطاء (الطبقة العليا) يكون أقل من أو يـساوي 5 أمثال d_{85} للطبقة التي تليها من أسفل.

وينصح باستخدام طبقة تبطين على هيئة مرشح من أجل حماية البنيات المعتمدة على الزلط- الحصى (الدبش)، أو وحدات تسليح أخري تقاوم ضغوط الموجة المتغيرة على التربة التي تليها من أسفل والتسريب أو تدفق المياه الجوفية، الـذي يمكـن يـؤدي إلى إزالة الترب السفلية (أسفل وحدات التسليح) من خلال المسام البينية بين وحدات التسليح. ويمكن أن تتكون طبقة التبطـين الأساسـية مـن قطـع حجريـة، أو أحجـار

obeikandl.com

مطحونة، أو حصى، أو حصى مفتت. ويمكن استخدام مرشح النسيج الجيولوجي في مكان غطاء الترشيح أو مع طبقة تبطين أقل سمكاً. ويمكن وضع النسيج الجيولوجي، أو الحصى الخشن، أو الأحجار المطحونة مباشرة على طبقة الرمال، إذا كانت متواجدة. مع هذا، يجب تغطية أنواع التربة الطينية والطميية والرملية الناعمة في الجدار الداعم أو ضفة البحر برمال خشنة قبل وضع طبقة التبطين. ومن المعتاد، أن تتراوح وزن القطع الحجرية من ٠,٤٥ إلى ٢٣ كجم إذا وضعت فوق النسيج الجيولوجي، أو الحصى الخشن، أو مرشح الأحجار المطحونة. ويجب ألا يكون سمك طبقة التبطين أو غطاء الترشيح أقل من ٠,٣ م. ويمكن تصميم تدريج طبقة المرشح باستخدام معايير قابلة للتطبيق لأغطية الترشيح لمكافحة الانجراف على شواطئ الأنهار (انظر الجزء بعنوان "الحماية من الانجراف").

مثال رقم (٥,١٠). احسب طول الموجة وجريان الموجة والسطح الحر وحجم الدكة الحجرية لخزان. متوسط عمق الماء التصميمي بالخزان ١٠ م، الحد الأقصى المتوقع لسرعة الرياح ٢٢,٩٧ م/ ث لفترة زمنية ١ ساعة وطول جلب ٣٢٠٠ م. ميل جدار الخزان يساوي ٢ أفقي: ١ رأسي عند منبع التيار.

الحل:

افرض أن سرعة الرياح فوق المياه

$$U_{water} = 22.97 \times 0.975 = 22.4\ \text{m/s}$$

استخدم المعادلة رقم (٥,٥٥) في تقدير معامل إجهاد الرياح

$$U_A = 0.71 \times (22.4)^{1.23} = 32.51\ \text{m/s}$$

books4arab.com

افترض وجود موجات عميقة للمياه وقم بحساب مقاييس الموجة باستخدام المعادلات من رقم (٥,٥٦) إلى رقم (٥,٥٨):

ارتفاع الموجة (م)

$$H_m = 5.122\times10^{-4}\times32.51\times3200^{1/2} = 0.94\ m$$

فترة الموجة (ث)

$$T_m = 6.238\times10^{-2}\times(32.51\times3200)^{1/3} = 2.93\ s$$

مدة استمرارية الموجة (ث)

$$t = 32.15\ \left(3200^2/32.51\right)^{1/3} = 2187.4\ s = 0.607\ hr$$

إن الموجات سوف تكون مقيدة بطول الجلب بعد ٠,٦٠٧ ساعة. حيث إن

$$0.607 \prec 1.0\ h\ (t_d)$$

وتكون المعادلات المقيدة بطول الجلب صالحة.

ومن المعادلة (٥,٦٢) نحسب طول الموجة Lo بالمتر

$$L_o = 1.56\times(2.93)^2 = 13.39\ m$$

وبالتالي

$$d/L_o = 10/13.39 = 0.747 \succ 0.5$$

وبالتالي نستنتج أنها موجات عميقة للمياه.

قارن القيم المحسوبة بالقيم المحددة والمقدرة بالمعادلات من رقم (٥,٥٩) إلى رقم (٥,٦١) للتأكد من أن المعادلات المستخدمة صحيحة وبالتالي:

$$H_m = 2.482\times10^{-2}\times(32.51)^2 = 26.23\ m$$

$$T_m = 0.830\times32.51 = 26.98\ s$$

$$t = 7296\times32.51 = 237193\ s$$

وحيث إن القيم التي تم حسابها مسبقا أقل من تلك القيم المقيدة بالتالي فإن القيم المحسوبة تعتبر صحيحة.

استخدم نمو الموجة المعبر عن الجزء الظاهر فوق أقصى ارتفاع للفيضان في الخزان =

$1.7 \times 0.94 = 1.6\ m$

نفترض أن K_D يساوي ١,٩ بالنسبة للأحجار المستديرة الملساء مع الوزن النوعي ٢٤٠٠ كجم/ م٣، G تساوي ٢,٤، cot θ تساوي ٢,٠، وباستخدام المعادلة رقم (٥,٦٦):

$$W_{50} = 2400 \times 0.94^3 / \left[1.9 \times (2.4\text{-}1)^3 \times 2\right] = 191\ kg$$

$$W_{max} = 4 \times 191 = 764\ kg$$

$$W_{min} = 0.125 \times 191 = 23.9\ kg$$

وباستخدام المعادلة رقم (٥,٦٧)

$$d_{50}\ (m) = 1.24\ (191/2400)^{1/3} = 0.54\ m$$

$$d_{max} = 0.85\ m$$

$$d_{min} = 0.27\ m$$

قنوات تصريف المياه Spillways

قنوات تصريف المياه هي الإنشاءات التي يتم تصميمها من أجل تسريب مياه الفيضان الزائدة التي لا يمكن تخزينها في الخزانات ودوماً تكون تصميات تلك الطرق بالنسبة للسدود الكبرى تعتمد على اختبارات النماذج الهيدروليكية. إن مهندس مصادر المياه دائماً ما يطلب منه القيام بالحسابات الهيدروليكية التمهيدية للأنواع البديلة وأحجام قنوات تصريف المياه الفائضة وأيضاً التعرف على النوع والحجم المفضل لها. وإن الأنواع شائعة الاستخدام لقنوات تصريف المياه الفائضة يتم وصفها في الجزء التالي (USBR 1987; ASCE 1989):

القنوات المقتطعة من الأرض مع مكافحة الأعشاب أو الأحجار:

Earth-Cut Spillway with Grass or Riprap Protection

يتم حفر هذه القنوات في جزءاً من السد، في الكتف أو في موقع مناسب على خط الساحل حيث إن المياه الجارية يتم تصريفها من خلال وادي صغير. وهي يتم تصميمها على أن تكون ذات قمم متسعة مع ميل منبسط نسبياً في اتجاه مصب التيار يتراوح بين ٣ أفقي: ١ رأسي إلى ١٠ أفقي: ١ رأسي مع حماية من خلال الدكة الحجرية أو من خلال الإنبات الخضري. ويمكن تصميم حماية المصطبة من الانجراف ومنحدر مهبط الماء في اتجاه المصب كما تم الوصف في جزء سابق بعنوان (الحماية من الانجراف). ويمكن تقدير طول المصطبة والضاغط فوق المصطبة للتصرف التصميمي Q، من خلال:

$$Q = 1.48\ L\ H^{1.5} \qquad (٥,٦٨)$$

معامل التصرف ١,٤٨ قد يزيد ليصل إلى ١,٧٠ للقمم شديدة النعومة ويقل حتى يبلغ ١,٤٦ بالنسبة للقمم الخشنة. وبالنسبة لتصميم السريان وبيانات ارتفاع تخزين السد، قد تتم حسابات طرق الفيضان باستخدام برامج الحاسب الآلي مثل: HEC-1 و HEC-MHMS (USACE 1991a, 2002) مع معدل متغير من قيم تلك الطرق بالنسبة لقيمة L المعطاة بالمعادلة رقم (٥,٦٨). للحصول على التجميع المقبول L وأقصي H. ويمكن تقدير عمق المياه وسرعتها عند نقطة ارتكاز منحدر المجرى الذي يكون السريان فيه منتظم في اتجاه المصب كما هو الحال في حالة الإسقاط مع المنحدر. (أنظر الجزء السابق بعنوان "إنشاءات الإسقاط").

قناة تصريف القابس المنصهر Fuse-Plug Spillway: وهي تتكون من جزء من سد أرضي أكثر انخفاضاً بشكل عام من قمة السد الرئيس. وعندما تتم التعلية على هذا الجزء، فإنه يصمم لمنعه من أداء مهمته بسبب الانجراف السريع وبهذا يكون

القسم المتبقي من السد غير متضرراً. وبسبب صعوبات تصميم هذا الجزء، الذي سيكف عن أداء مهمته عند هذا الارتفاع لسطح مياه الخزان المرغوب، فإن قنوات تصريف القابس المنصهر ليست شائعة جداً. وعندما تكون ضرورية، فإنها توضع على كتف الخزان، أو على حافة الخزان، أو عند موقع منخفض على قمة الحاجز. ويتم تصميم الجزء المختار على أنه قناة إرشادية، والتي يتم التعلية عليها عندما يصل الخزان ارتفاعاً مسبق التحديد. ويتم تأمين الانجراف السريع عن طريق وضع مواد قابلة للتآكل في القناة الإرشادية. ويتم التحكم في أبعاد القابس المنصهر القصوى عن طريق وضع أساس من الجدّة الموازية أو من مادة غير قابلة للتآكل عند القاع وجوانب غير قابلة للتآكل للقناة الإرشادية. وفي العادة يتم تصميم القوابس المنصهرة ليس لتعمل في حالة الفيضانات ذات الفواصل الزمنية المتكررة أقل من ١٠٠ سنة، لكنها مصممة كسدود ثابتة لكل ظروف الخزانات ما عدا أن ارتفاع فيضان التصميم الذي يجب أن يسببه لابد أن يعلوه وأن يخترقه.

قناة تصريف مسقط مياه السد الحر (السقوط المباشر):

Free Overfall (Straight Drop) Spillway

تكون قنوات تصريف السقوط المباشر مناسبة لحالات السقوط لأقل من ستة أمتار. وفي هذه القنوات يسقط الماء بشكل حر من قمة قناة التصريف على المنحدر الأفقي. ويمكن تقدير التصرف فوق قناة التصريف باستخدام معادلات السد الصغير حاد- أو عريض- المصطبة بناءاً على طول المصطبة الموازي للتدفق. ولتوجيه التدفق بعيداً عن الوجه الرأسي من قناة التصريف أثناء التصريفات المنخفضة، فإنه يمكن عمل طرف بارز عند حافة المصطبة. وإذا كان عمق مياه التصريف المتاح كافياً، يمكن أن تتكون قفزة هيدروليكية على الجانب الأفقي. وفي حالات السقوط الصغيرة (أقل

من ستة أمتار أو نحوه)، فإن السرعة V_1 ، وعمق المياه y_1 ، عند الطرف لتصرف الوحدة q ، لكل وحدة عرض من المصطبة يمكن أن يقرّب عن طريق:

$$V_1 = C_d \sqrt{(2\,g\,H)} \qquad (٥,٦٩ أ)$$

$$y_1 = q/V_1 \qquad (٥,٦٩ ب)$$

حيث إن:

C_d = معامل التصرف ويتراوح من ٠,٨ إلى ٠,٩ .

H = الضاغط فوق المصطبة.

إن تحليل القفزة الهيدروليكية قد يتم باستخدام الطرق الموضحة في (إنشاءات الإسقاط).

قناة التصريف المستدقة الرأس (الفيضان) Ogee (Overflow) Spillway: وهي المفايض التي تتكيف فيها كل من المصطبة وسطح مهبط النهر مع الصخور المغتربة لصفحة المياه الساقطة من السد الصغير حاد- المصطبة. ومعادلة التصرف لقناة التصريف المستدقة الرأس معطاة في الفصل الثالث في جزء بعنوان "المصطبة مستدقة الرأس". وهناك عوامل عديدة مؤثرة على قمم تلك القنوات قد يتم أخذها في الاعتبار من خلال تعديل طول المصطبة كما يلي:

$$L_e = L - 2\left(n\,K_p + K_a\right)H \qquad (٥,٧٠)$$

حيث إن:

L_e = طول المصطبة الفعال.

L = طول المصطبة الغير مقتطع.

N = عدد الركائز.

K_p = معامل انكماش الركائز.

K_a = معامل انكماش الكتف.

H = الضاغط فوق المصطبة.

في حالـة الركـائز مربعـة المقدمـة، $K_p = 0.02$، وفي حالـة الركـائز مـستديرة المقدمة، $K_p = 0.02$، وفي حالة الركائز مدببة المقدمة، $K_p = 0.0$. في حالة الأكتاف المربعة، $K_a = 0.20$، وفي حالـة الأكتـاف المـستديرة، $K_a = 0.0$ to 0.10. ويتـأثر معامل التصرف بارتفاع قناة التصريف فوق قاع منبع التدفق، وميل سـطح المـاء عنـد منبع التدفق، والضواغط الأخرى غير ضاغط التصميم، ودرجة الغمر. وإن التغير مع ارتفاع السطح الرأسي لمنبع التدفق تم إيضاحه في الجدول رقم (٣,١٢ أ)، والتغير مـع وجود الضواغط الأخرى غير ضاغط التصميم تم إيـضاحه في الجـدول رقـم (٣,١٢ ب)، والتغير مع وجود درجة الغمر موضح في الجدول رقم (٥,١٠) (USBR 1987).

معادلة حساب القطاع الجانبي لمهبط النهـر لقنـاة التـصريف مـستدقة الـرأس معطاة في "المصطبة مستدقة الرأس" في الفصل الثالث:

$$X^n = K H_d^{n-1} Y \quad (٣,٤٩)$$

يمكن حساب ميل سطح مصب التدفق عن طريق الحكم المقارن أو اختبارات النماذج الهيدروليكية. وتتراوح الميول شـائعة الاسـتخدام مـن ٠,٦ أفقـي:١ رأسي إلى ٠,٨ أفقي: ١ رأسي. ويمكن حساب القطاع الجانبي باستخدام المعادلة المذكورة أعلاه إلى نقطة يصبح عندها الميل مساوياً إلى الميل المختار من سطح مصب التـدفق (z:1). وإن إحداثيات هذه النقطة يمكن أن تقدّر عن طريق وضع:

$$dY/dX = n\ X^{n-1}/\left[K H_d^{n-1}\right] = 1/Z \quad (٥,٧١)$$

الجدول رقم (٥,١٠). تغيير معامل التصرف للمصطبة مستدقة الرأس Ogee مع الغمر لقيمة H_s التي تساوي منسوب المصطبة أو الذروة مطروحاً منه منسوب الماء عند المنطقة الخلفية، و C_s يساوي معامل التصرف المعدل.

H_s/H_d	C_s/C
١,٠	٠
٠,٩	٠,٦٥
٠,٨	٠,٨٦
٠,٧	٠,٩٣
٠,٦	٠,٩٦
٠,٥	٠,٩٨
٠,٤	٠,٩٩
٠,٣	٠,٩٩٥
٠,٢	١

المصدر: (USBR 1987).

شكل القطاع الجانبي لقناة التصريف في اتجاه منبع التدفق من مركز الإحداثيات (ذروة المصطبة) يتكون من ثلاث أقواس دائرية متصلة. أنصاف أقطار وإحداثيات مراكز هذه الأقواس المطوّرة عن طريق قطاع تجارب هندسة المجاري المائية بجيش الولايات المتحدة موضحة في الجدول رقم (٥,١١) (USAEWES 1977). ويرمز لأنصاف الأقطار بالرمز R مقاسة من المركز عند أعلى نقطة في المصطبة.

في الجدول رقم (٥,١١)، تكون X موجبة في الاتجاه إلى اليمين و Y موجبة في الاتجاه إلى أسفل. وباستخدام البيانات في الجدول رقم (٥,١١)، فإن إحداثيات النقاط المختلفة على القطاع الجانبي لقناة التصريف في اتجاه منبع التدفق من المصطبة إلى السطح الرأسي لمنبع التدفق موضحة في الجدول رقم (٥,١٢).

obeikandl.com

الجدول رقم (٥,١١). أنصاف أقطار وإحداثيات مراكز الأقواس المكونة للقطاع الجانبي لقناة التصريف عند منبع التدفق.

إحداثيات المركز		
X/H_d	Y/H_d	R/H_d
٠	٠,٥٠	٠,٥٠
٠,١٠٥ -	٠,٢١٩	٠,٢٠
٠,٢٤١٨ -	٠,١٣٦	٠,٠٤

المصدر: (USAEWES 1977).

مثال رقم (٥,١١): طوّر قطاعاً جانبياً لقناة تصريف مستدقة الرأس H_d يساوي ٥ م، والوجه العمودي لقناة السريان لمنبع التدفق ذو ارتفاع ٨٠ م، وأيضاً ميل الوجه للمجرى الخاص بالسريان نحو مصب التدفق يساوي ٠,٧ أفقي: ١ رأسي. استخدم K تساوي ٢,٠ و n تساوي ١,٨٥ (انظر الشكل رقم (٣,٢) في الفصل الثالث).

الحل:

بالنسبة لشكل السريان في اتجاه مصب التدفق فإن إحداثيات النقطة التي يبدأ عندها الميل ٠,٧ أفقي: ١ رأسي يتم تعيينها من خلال المعادلة رقم (٥,٧١)

$$1.85\ X^{1.85-1}/\left[2.0\times\ 5^{1.85-1}\right]=1/0.7$$

ومنها نوجد قيمة X

$$X=\left(6.06575\right)^{1.1765}=8.338\ \text{m}$$

ومن المعادلة رقم (٣,٤٩) نعين قيمة Y

$$Y=8.338^{1.85}/\left(2\times5^{1.85-1}\right)=6.438\ \text{m}$$

يتم تقدير إحداثيات النقاط المختارة على سطح مصب التدفق فوق النقطة (X = 8.338, Y = 6.438) بالمعادلة رقم (٣,٤٩) وهي موضحة في الجدول رقم (٥,١٣).

وباستخدام الجدول رقم (٥,١٢) يمكن تعيين إحداثيات نقاط منحنى السريان عند منبع التدفق والموضحة في الجدول رقم (٥,١٤).

إن الأطر الخارجية التي تم تقديمها من خلال (USBR 1987) و (USAEWES 1977) تكون ذات مفاهيم مختلفة قليلا. وإن التصميم يجب أن ينتهي بالاعتماد على النماذج الهيدروليكية.

الجدول رقم (٥,١٢). إحداثيات النقاط على منحنى سريان الماء لقناة التصريف عند منبع التدفق.

X/H_d	Y/H_d
٠	٠
-٠,٠٥	٠,٠٠٢٥
-٠,١٠	٠,٠١٠١
-٠,١٥	٠,٠٢٣
-٠,١٧٥	٠,٠٣١٦
-٠,٢٠	٠,٠٤٣
-٠,٢٢	٠,٠٥٥٣
-٠,٢٤	٠,٠٧١٤
-٠,٢٦	٠,٠٩٢٦
-٠,٢٧٦	٠,١١٥٣
-٠,٢٧٨	٠,١١٩
-٠,٢٨	٠,١٢٤١
-٠,٢٨١٨	٠,٢٨١٨

المصدر: (USAEWES 1977).

oneikandi.com

الجدول رقم (٥,١٣). الإحداثيات المحسوبة للنقاط على سطح قناة التصريف عند مصب التدفق.

Y	X
٠,١٢٧	١
٠,٤٥٩	٢
٠,٩٧٢	٣
١,٦٥٤	٤
٢,٥	٥
٣,٥٠٣	٦
٤,٦٥٩	٧
٦,٤٣٩	*٨,٣٣٨
**٢٣,٠٩٩	٢٠

* منحنى السريان لقناة تصريف ذات ميل ٠,٧ أفقي : ١ رأسي أسفل تلك النقطة.

** $6.439 + [(20 - 8.338)/0.70] = 23.099$

الجدول رقم (٥,١٤). الإحداثيات المحسوبة للنقاط على سطح قناة التصريف عند منبع التدفق.

X	X/H_d	Y/H_d	Y
٠ -	٠ -	٠	٠
٠,٥٠ -	٠,١٠ -	٠,٠١٠١	٠,٠٥٠٥
٠,٨٧٥ -	٠,١٧٥ -	٠,٠٣١٦	٠,١٥٨
١,١٠ -	٠,٢٢ -	٠,٠٥٥٣	٠,٢٧٦٥
١,٣٠ -	٠,٢٦ -	٠,٠٩٢٦	٠,٤٦٣
١,٣٩٠ -	٠,٢٧٨ -	٠,١١٩٠	٠,٥٩٥
١,٤٠٩ -	٠,٢٨١٨ -	٠,١٣٦٠	٠,٦٨٠
١,٤٠٩ -	–	–	١,٠
١,٤٠٩ -	–	–	٢,٠
١,٤٠٩ -	–	–	٨٠

obeikandl.com

قناة تصريف القناة الجانبية Side Channel Spillway: في هذه القناة تكون المصطبة موازية تقريباً لقناة السريان في اتجاه المصب، عادة ما تكون ضيقة ومن خلالها يتم تصريف المياه. بعد السريان بشكل موازي لقمة القناة فإن قناة السريان في اتجاه المصب تميل بزاوية ما لتتصل مع قناة التصريف الرئيسة. إن ذروة قناة التصريف قد يتم تصميمها بنفس طريقة Ogee على هيئة قناة حادة أو قمة متسعة ولو تم تصميم قناة التصريف بحيث يصبح السريان فيها فوق حرج فإن السرعات سوف تكون عالية وأعماق المياه سوف تكون منخفضة وسوف يؤدي ذلك إلى انخفاض عالي من ذروة قناة التصريف إلى المياه السطحية في القناة. وسوف يؤدي ذلك إلى نقل الفيضان إلى جانب القناة ويؤدي إلى اضطراب عنيف واهتزازات نتيجة اختلاط السريان الطولي فوق الحرج والسرعات العالية للسريان المستعرض من الطرق. ومن ناحية أخري، لو تم تصميم القناة بحيث تكون ذات منحني مسطح بشدة، فإنها قد تكون غير قادرة على حدوث امتلاء من ذروات قناة التصريف بدون انغمار للذروة خاصة أثناء الفيضانات العالية. وإذا كان انغمار المصطبة يتعدي 3/4H، فإن قناة التصريف قد تتعرض للانسداد. H هي الضاغط الكلي فوق المصطبة. وتحت هذه الظروف يكون سعة التصرف متحكماً في السريان للخارج أكثر من المصطبة، وقد تفقد قناة التصريف تأثيرها الهيدروليكي. وحيث إن قمم التسريب نتيجة السريان الزائد طويلة وبالتالي هناك حاجة إلى تقييد ارتفاع المياه السطحية في الخزان. أو عندما يكون التحكم متصلاً بقناة تصريف خارجية أو نفق، يكون في هذه الحالة هناك حاجة إلى قناة جانبية. ومن أجل الوصول إلى الأداء الهيدروليكي المطلوب للقنوات الجانبية الناتجة عن سريان المياه، يكون مطلوب الإبقاء على السريان أقل من المرحلة الحرجة (تحت حرج). وإن ذلك قد يتم تحقيقه من خلال إقامة قطاع للتحكم عند نهاية ممر السريان في اتجاه نهاية المصب.

إن التحليل الهيدروليكي للقنوات الجانبية الناتجة عن سريان المياه يعتمد على الحفاظ على كمية الحركة على طول محور القناة (USBR 1987).

$$\Delta y = -\ [Q_1 (v_1 + v_2)/\{g (Q_1 + Q_2)\}]\ [(v_2 - v_1) + \{v_2 (Q_2 + Q_1)/Q_1\}] \quad (٥,٧٢)$$

حيث إن:

Δy = التغير في ارتفاع سطح المياه من المقطع ١ (عند مصب التدفق) إلى المقطع ٢ (عند منبع التدفق).

Q_1 ، v_1 = التصرف والسرعة عند المقطع ١.

Q_2 ، v_2 = التصرف والسرعة عند المقطع ٢.

بسبب تقريب الفرق المحدد، فكلما قل الطول بين المقطعين ١ و ٢ كلما زادت دقة المعادلة رقم (٥,٧٢). وإن الخطوات الحسابية لتقدير أبعاد التصميم هي كالتالي:

١- افترض أن انغمار المصطبة حوالي 2/3 H واستنتج معامل التصرف لقمة قناة التصريف. وقم بتحديد منحني معايرة قناة التصريف وقم بعمل حسابات تحديد قناة التصريف للرسم المائي لتدفق التصميم من أجل الحساب المبدئي لطول وارتفاع قمة قناة التصريف.

٢- قم بتعيين أبعاد مبدئية للأخدود، أي، عرض القاع، والميول الجانبية، وميل القاع. وإن الأخدود يكون تقريباً موازياً لقمة قناة التصريف ويمتد على مدار الطول بالكامل.

٣- افترض أبعاداً مبدئية للأخدود عند قطاع التحكم مثل ارتفاع القاع، وعرض القاع والميول الجانبية. وقد يتم عمل قطاع التحكم من خلال تقليص القطاع شبه المنحرف إلى قطاع مستطيل أو من خلال عتبة صخرية ذات شكل شبه منحرف أو

مستطيل. ومن المطلوب تحديد طول الانتقال بين نهاية الأخدود عند القطاع شبه المنحرف وقطاع التحكم.

٤- قم بتقدير عمق المياه والسرعة وضاغط السرعة عند قطاع التحكم باستخدام معادلات السريان الحرج (انظر "السريان الحرج" في الفصل الثالث).

٥- قم بتقدير عمق المياه والسرعة عند نهاية ممر السريان في اتجاه المصب بالنسبة للقطاع شبة المنحرف باستخدام معادلات الطاقة بين هذا القطاع وقطاع التحكم.

٦- استخدم المعادلة رقم (٥,٧٢) لتقدير عمق المياه وارتفاعات سطح الماء عند قطاعات مختلفة من الأخدود من خلال التجربة والخطأ.

٧- قم بتقدير مدي انغمار المصطبة، إذا كان هناك أي منها، واحسب ما إذا كان معامل التصرف المفترض صحيحاً. وإذا لم يكن كذلك، قم بعمل التعديلات المناسبة لأبعاد الأخدود وارتفاع القاع والميل وقم بتكرير الحسابات.

مثال رقم (٥,١٢): أوضحت حسابات تصميم قناة سريان مياه الفيضان إلى خزان وجود قمة في قناة مرور المياه عند منسوب وبطول ٢٤٠٤,٣ م و ٣٥ م على الترتيب، وأقصي تصرف للخارج ٧٠ م٣/ ث. وللسماح ببعض الانغمار فإن معامل التصرف لقناة التصريف الناتج عن الفيضان ١,٩٨. قم بتقدير أبعاد التصميم للقناة الجانبية للتصريف. واستخدم قطاع شبة منحرف للأخدود مع عرض القاع وميول جانبية وميل القاع ٤,٥ م ، ٠,٥ أفقي:١ رأسي ، ٠,٠١٠ على الترتيب.

الحل:

افترض أن قطاع التحكم المستطيل ذو عرض ٤,٥ م ويقع في طول انتقال أفقي يساوي ٨ م لقناة السريان في اتجاه المصب من نهاية تلك القناة أو القطاع شبة المنحرف للأخدود. ومن خلال معادلة التصرف للمصطبة:

$$70 = 1.98 \times 35 \times H^{1.5}$$

ومنها

$$H = 1.0\,m$$

وحدة التصرف عند قطاع التحكم

$$q = 70/4.5 = 15.56\,m^3/s$$

وأيضا العمق الحرج

$$y_c = \left[15.56^2/9.81\right]^{1/3} = 2.91\,m$$

السرعة الحرجة

$$V_c = q/y_c = 15.56/2.91 = 5.347\,m/s$$

وضاغط السرعة

$$h_{vc} = 5.347^2/(2 \times 9.81) = 1.457\,m$$

وبالتجربة والخطأ، قم بتقدير عمق المياه والسرعة عند نهاية المسار في اتجاه المصب للقطاع شبة المنحرف باستخدام معادلة الطاقة:

$$y_c + V_c^{\,2}/2g + 0.2\,(h_{vc} - h_{v1}) = y_1 + V_1^{\,2}/2g$$

القطاع 1 يقع على بعد ٨ م من مسار السريان في اتجاه المصب لقطاع التحكم أي أنه عند نهاية مسار السريان في اتجاه المصب للقناه الشبة منحرفة الشكل.

وبالتجربة والخطأ

$$y_1 = 4.295\,m$$

وأيضاً

$$A_1 = 4.5 \times 4.295 + 0.5 \times \left(4.295^2\right) = 28.551\,m^2$$

$$V_1 = 70/28.551 = 2.4517\ m/s$$

و

$$h_{v1} = 2.4517^2/(2 \times 9.81) = 0.306\,m$$

فيكون الجانب الأيمن لمعادلة الطاقة

$$4.295 + 0.306 = 4.601\,m$$

ويكون الجانب الأيسر لمعادلة الطاقة

$$2.91 + 1.457 + 0.2\,(1.457 - 0.306) = 4.597\ m$$

التصرف لكل وحدة عرض لقمة قناة التصريف

$$70/35 = 2\,m^2/s$$

قم بحساب مناسيب سطح المياه بالتجربة والخطأ مستخدما المعادلة رقم (٥,٧٢). وتتم تلك الحسابات على برنامج الأكسل Excel وقد تم توضيحها في الجدول رقم (٥,١٥).

وإن قيم المحطة (صفر) خاصة بالقيم التي تم حسابها لنهاية الطريق المنحدر تجاه المصب للمنطقة ذات الشكل شبة المنحرف. وإن قيمة العمود رقم (٨) تعتبر خاصة بالطريق الناتج عن سريان المياه للخارج وفوق طول المصطبة من الحافة الخاصة بمسار السريان ضد التيار وحتى نهاية المحطة المشار إليها في العمود رقم (١) وتم حسابها عند ٢ م^2/ ث لكل متر من طول الزاوية المرتفع. وإن القيم في العمود رقم (٤) تعتبر قيم تجريبية تستخدم لحساب القيم في الأعمدة الأخرى. وإن تلك القيم يتم تغييرها مرة أخرى وأخرى حتى تتفق مع القيم التي تم حسابها في العمود رقم (١٨).

إن رقم ١ يشير إلى السريان نحو المصب ورقم ٢ يشير للسريان عند المنبع لمحطتين متلاصقتين.

إن أقصى ارتفاع تم تقديره لسطح المياه ٢ م للسريان باتجاه المصب من حافة السريان عند المنبع للممر ٢٤٠٤,٨٧٥ م؛ لذلك فإن الغمر فوق المصطبة يساوي

$$2404.875 - 2404.3 = 0.575\ \text{m}$$

وهو أقل من ثلثي H لذلك فإن اقتراح تقليل معامل التصريف نتيجة الغمر ليس ذو أهمية وأن القيمة ١,٩٨ المستخدمة في حسابات تحديد الفيضان تعتبر مناسبة.

قنوات تصريف الحوض أو الشلال Chute or Trough Spillways: هذه القنوات تشبه منشأة السقوط مع ميل منحدر في اتجاه مصب التدفق. ويمكن أن يكون الشلال قناة مفتوحة أو يمكن أن يكون له خطوط عرضية مثبتة لأجل تشتيت الطاقة ويمكن أن يتم تصميمه ليكون له ميل تحت حرج أو فوق حرج لتدفق التصميم. وهي مناسبة للسدود حيث يكون هناك اتساع كافي متاح (مثل السناد) من أجل إتاحة قمة عريضة متسعة نسبياً. ويمكن تقليص قطاع التدفق في اتجاه التيار لشلال أو أخدود باتساع وميل كافيين للتمرير الآمن لفيضان التصميم. ويتم معايرة المصطبة باستخدام معادلة تصرف الهدار عريض المصطبة (المعادلة رقم ٣,٤٥). السمة الرئيسة المميزة لقناة تصريف قناة الجانب هي أن المصطبة تكون موضوعة رأسياً أو شبه رأسياً على محور الشلال. وعادةً، تتكون قناة تصريف الشلال من قناة اقتراب، وقطاع تحكم (سناد أو قمة عريضة)، وقناة تصريف شديدة الانحدار نسبياً (أخدود)، وحوض ثابت، وقناة مخرج (USBR 1987).

الجدول رقم (٥,١٥). الحسابات الهيدروليكية لقناة تصريف قناة الجانب.

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)
الموقع	Dx	منسوب القاع	dy	منسوب سطح الماء	y
صفر	صفر	٢٤٠٠,٠٠	صفر	٢٤٠٤,٢٩٥٠	٤,٢٩٥٠
٧	٧	٢٤٠٠,٠٧	٠,٢٣٤٤	٢٤٠٤,٥٢٩٤	٤,٤٥٩٤
١٤	٧	٢٤٠٠,١٤	٠,١٥٨٧	٢٤٠٤,٦٨٨١	٤,٥٤٨١
٢١	٧	٢٤٠٠,٢١	٠,١٠٥٧	٢٤٠٤,٧٩٤٨	٤,٥٨٣٨
٢٨	٧	٢٤٠٠,٢٨	٠,٠٦١٨	٢٤٠٤,٨٥٦٦	٤,٥٧٥٦
٣٣	٥	٢٤٠٠,٣٣	٠,٠١٩٠	٢٤٠٤,٨٧٥٦	٤,٥٤٤٦

(٧)	(٨)	(٩)	(١٠)	(١١)	(١٢)
A	Q	V	$Q_1 + Q_2$	Q1/(g × col. (10))	$V_1 + V_2$
٢٨,٥٥١	٧٠	٢,٤٥١٧٥	–	–	–
٣٠,٠١٠٤٢	٥٦	١,٨٦٦٠١٨	١٢٦	٠,٠٥٦٦٣٢	٤,٣١٧٧٦٨
٣٠,٨٠٩٠٦	٤٢	١,٣٦٣٣٣٦	٩٨	٠,٠٥٨٢٥	٣,٢٢٩٢٥٤
٣١,١٣٢٧١	٢٨	٠,٨٩٩٣٧٦	٧٠	٠,٠٦١١٦٢	٢,٢٦٢٦١١
٣١,٠٥٨٢٦	١٤	٠,٤٥٠٧٦٦	٤٢	٠,٠٦٧٩٥٨	١,٣٥٠١٤١
٣٠,٧٧٧٣٩	٤	٠,١٢٩٩٦٦	١٨	٠,٠٧٩٢٨٤	٠,٥٨٠٧٣١

(١٣)	(١٤)	(١٥)	(١٦)	(١٧)	(١٨)
$V_1 - V_2$	$Q_1 - Q_2$	Col. (14) / Q_1	V_2 × col. (14)/Q_1	Col. (13) + col. (16)	dy
-	–	–	–	–	–
٠,٥٨٥٧٣٢	١٤	٠,٢	٠,٣٧٣٢٠٤	٠,٩٥٨٩٣٥	٠,٢٣٤٤٨١
٠,٥٠٢٧٨٣	١٤	٠,٢٥	٠,٣٤٠٨٠٩	٠,٨٤٣٥٩٢	٠,١٥٨٦٨٢
٠,٤٦٣٨٦	١٤	٠,٣٣٣٣٣	٠,٢٩٩٧٩٢	٠,٧٦٣٦٥٢	٠,١٠٥٦٧٩
٠,٤٤٨٦١	١٤	٠,٥	٠,٢٢٥٣٨٣	٠,٦٧٣٩٩٣	٠,٠٦١٨٤١
٠,٣٢٠٨	١٠	٠,٧١٤٢٨٦	٠,٠٩٢٨٣٣	٠,٤١٣٦٣٣	٠,٠١٩٠٤٥

obeikandl.com

قناة تصريف الأنابيب أو الأنفاق Conduit or Tunnel Spillways: وهي أنفاق تصمم عمودية أو مائلة أو أفقية من أجل مرور تصرف جزئي أو كلي عبر طولها مع استثناء مداخل السقوط. وبالنسبة لمداخل السقوط، قد يتم تصميم النفق من أجل السريان التام على مدار طول قصير بالقرب من السقوط وجزئياً فيما بعد.

قناة تصريف مجد الصباح أو حفرة المجد:

Morning Glory or Glory Hole Spillway

تتكون هذه المفايض من شكل فم الكرة الذي على شكل قمع على هيئة سد صغير، وبئر تهوية رأسي، وقناة صرف عبارة عن أنبوب معلق تحمل السريان إلى قناة التصريف في اتجاه المصب. ويتم تصميم القطاع الجانبي للمصطبة والانتقال إلى نافورة المياه الرأسي ليطابق شكل الجزء السفلي من القناة التي يتم السريان عبرها فوق سد صغير حاد المصطبة. ويمكن تقدير القطاع الجانبي للمصطبة باستخدام الجداول المطورة تجريبياً لإحداثيات النقاط على القطاع الجانبي (USBR 1987). وبالنسبة للضاغط المنخفض فإن التصرف يتم التحكم فيه بواسطة هدار سريان فوق الذروة. وبالنسبة للضاغط المتوسط يكون السريان عبر فوهة أثناء الانتقال عبر الحافة العمودية أحد أنواع التحكم. وبالنسبة للضاغط المرتفع، يتم التحكم في السريان عبر أنبوب السريان خلال نافورة المياه الرأسية.

إن التصرف فوق قمة قناة تصريف مجد الصباح مع قطاع جانبي مغترب الشكل يعطى من خلال:

$$Q = C(2\pi R)H^{1.5} \qquad (٥,٧٣)$$

حيث إن:

Q = التصرف الخارج.

R = نصف قطر المصطبة.

H = الضاغط فوق المصطبة.

C = معامل التصرف، ويعطى من الجدول رقم (٥,١٦) (USBR 1987).

الجدول رقم (٥,١٦). معاملات التصرف لمصطبة قناة تصريف مجد الصباح.

H/R	P/R = 2.0	P/R = 0.30	P/R = 0.15
		معامل التصرف C	
٠,٢	٢,١٥	٢,٢٠	٢,٢١
٠,٤	١,٩٧	٢,٠٤	٢,٠٤
٠,٨	١,٣٦	١,٤٤	١,٧٤
١,٢	٠,٩٤	٠,٩٩	١,٠٢
١,٦	٠,٧١	٠,٧٣	٠,٧٦
٢,٠	٠,٥٥	٠,٦٠	٠,٦١

P = ارتفاع المصطبة فوق قاع مجرى السريان عند منبع التيار (مصعد النهر).

المصدر (USBR 1987).

بالنسبة للضاغط المنخفض جداً قد يتم تقليل معامل التصرف إلى ٨٧٪ من قيمة ضاغط التصميم.

إن السريان الانتقالي عبر الحافة العمودية يعطي بالمعادلة

$$Q_a = \pi R_a^{\,2} \sqrt{\left[2\,g\left(H_a - 0.1\,H_a\right)\right]} \qquad (٥,٧٤)$$

حيث إن:

R_a= نصف قطر نافورة الانتقال.

$0.1\,H_a$ = الانقباض في النافورة والفواقد الأخرى.

H_a = المسافة بين سطح المياه بالخزان والارتفاع المطابق إلى نصف قطر النافورة R_a.

إن نصف قطر النافورة يقل نتيجة السقوط لأسفل لذلك فإن الإطار العام له في الانتقال يتم تقديره من المعادلة:

$$R_a = 0.275\ Q_a^{1/2} / \left(H_a^{1/4}\right) \qquad (٥,٧٥)$$

أنبوب السريان يبدأ عند الارتفاع في نافورة المياه حيث إن R_a يصبح مساوياً لنصف قطر الأنبوب الموصل. وإن ذلك الموقع يطلق عليه العنق. دائما ما يتم تصميم أنبوب السريان الموصل لتدفق ٧٥٪ من التصرف التصميمي الكلي من أجل تقليل احتمال التغيرات من الضغط إلى سريان القنوات المكشوفة في الموصل. ومن القيم الجدولية لأبعاد الموصلات الدائرية لمقدار ٧٥٪ من كامل التصرف (٧٥٪ من مساحة الأنبوب الموصل). عمق الماء (y) $y = 0.702\ D$، ونصف القطر الهيدروليكي (r_h) $r_h = 0.2964\ D$، حيث D هي قطر الأنبوب الموصل (USBR 1987). والسريان عبر أنبوب موصل طوله L يتم توضيحه من خلال معادلة الطاقة:

منسوب سطح المياه عند العنق + ضاغط السرعة عند العنق =

منسوب الماء المعكوف عند المخرج + $y + V^2/2g + V^2\ n^2\ L/\left(r_h^{4/3}\right)$ (٥,٧٦)

إن منحنى المعايرة لقناة تصريف مجد الصباح يشمل ثلاث مكونات:

١- منحنى يعتمد على تدفق فوق قمة هدار صغير ويمكن تطبيقه في حالة الضواغط المنخفضة.

٢- منحنى يعتمد على تدفق الفوهة في منطقة الانتقال خلال نافورة المياه ويمكن تطبيقه في حالة الضغوط المتوسطة.

٣- منحنى يعتمد على تدفق أنبوب السريان ويمكن تطبيقه في حالة الضواغط العالية.

ويتم وصل تقاطع هذه المنحنيات عن طريق منحنيات الانتقالات المنبسطة التقريبية. وتتم حسابات قناة تصريف مجد الصباح التجربة و الخطأ.

مثال رقم (٥,١٣): طور أبعاداً تمهيدية لقناة تصريف مجد الصباح التي سوف تعمل تحت ضاغط مقداره ٣,٠٥ م لكنه سوف يحدد التدفق الخارج بمقدار ٥٧ م٣/ ث. ومنسوب المصطبة ١٠٠٠ م. طول أنبوب مصب التدفق ٨٢ م والمنسوب عند المخرج ٩٨٨,٦ م. ومعامل مانتق للخشونة في حالة الأنبوب ٠,٠١٤. وبفرض أن $P/R > 2.0$.

الحل:

يتم حساب نصف قطر المصطبة عن طريق التجربة والخطأ. بفرض تجربة أن $R = 2.13\ m$. إذن:

$$H/R = 3.05/2.13 = 1.43$$

ومن الجدول رقم (٥,١٦) نجد أن $C = 0.80$.

$$Q = 0.80\left(2\pi \times 2.13\right)\left(3.05^{1.5}\right) = 57\ m^3/s$$

إذن، استخدم $R = 2.13\ m$.

ولإيجاد قطر العنق، استخدم المعادلة رقم (٥,٧٥):

$$R_a = 0.275 \times \left(57^{0.5}\right) / \left({H_a}^{0.25}\right) = 2.076 / \left({H_a}^{0.25}\right)$$

حسابات القطاع الجانبي للنفث خلال نافورة المياه موضحة في الجدول رقم (٥,١٧).

ويتم أيضاً تقدير قطر المجرى عن طريق التجربة والخطأ. بفرض أن $R_a = 1.37\ m$. ومن الجدول رقم (٥,١٧) الخاص بحسابات القطاع الجانبي للنفث، يقابل هذا

openkanar.com

ارتفاع ٩٩٧,٧٧٧ م في نافورة المياه، الذي يصبح ارتفاع العنق. ضع نصف المجرى الموصل ١,٣٧ م.

الجدول رقم (٥,١٧). حسابات القطاع الجانبي للنفث خلال نافورة المياه لقناة تصريف مجد الصباح.

ارتفاع سطح الماء في نافورة المياه	H_a	$R_a = 2.076/H_a^{0.25}$
١٠٠٠	٣,٠٥	١,٥٧١
٩٩٩,٥	٣,٥٥	١,٥١٢
٩٩٩	٤,٠٥	١,٤٦٣
٩٩٨,٥	٤,٥٥	١,٤٢١
٩٩٨	٥,٠٥	١,٣٨٥
٩٩٧,٥	٥,٥٥	١,٣٥٢
٩٩٧	٦,٠٥	١,٣٢٤
٩٩٦,٥	٦,٥٥	١,٢٩٨
٩٦٦	٧,٠٥	١,٢٧٤
٩٩٧,٦	٥,٤٥	١,٣٥٩
٩٩٧,٧	٥,٣٥	١,٣٦٥
٩٩٧,٨	٥,٢٥	١,٣٧١
٩٩٧,٩	٥,١٥	١,٣٧٨

وبالتالي يكون (H_a) الفرق بين منسوب سطح المياه بالخزان والمنسوب عند العنق

$$H_a = 1000 + 3.05 - 997.777 = 5.273\,\text{m}$$

وبالنسبة لحالة تدفق ٧٥٪ فإن

$$A = 0.75\,\pi\left(1.37^2\right) = 4.422\,\text{m}^2$$
$$V = 57/4.422 = 12.89\,\text{m/s}$$

obeikandl.com

$y = 0.702 \times 2 \times 1.37 = 1.9235\ m$
$r_h = 0.2964 \times 2 \times 1.37 = 0.8121\ m$

ضاغط السرعة عند العنق يساوي تقريباً

$$5.273 - 0.1 \times 5.273 = 4.746\ m$$

بالنسبة للسريان في الموصل فإن:

$$997.777 + 4.746 = 12.89^2 \times (0.014^2) \times 82/(0.8121^{4/3}) + 12.89^2/(2 \times 9.81) + 1.9235 + \text{conduit invert elevation at exit}$$

المنسوب المعكوس للموصل عند المخرج

$$1002.523 - (3.5245 + 8.47 + 1.9235) = 988.605\ m$$

وهذا يعادل تقريباً المنسوب المعطى عند المخرج.

حسابات منحني معدل للسريان في الموصل للهدار وفوهة التصرف تم توضيحها بالجدول رقم (٥,١٨).

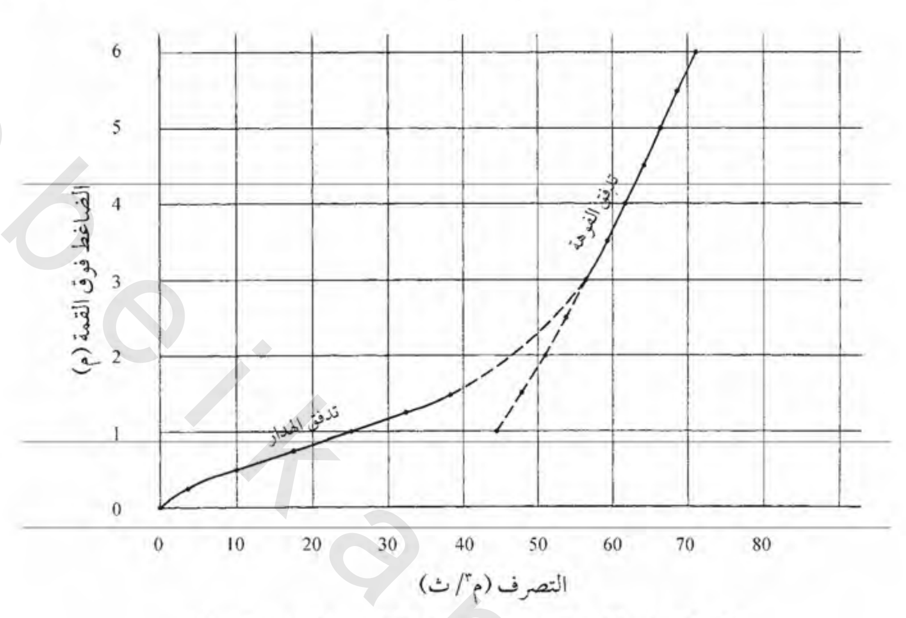
إن قيم معامل التصرف C مأخوذة من الجدول رقم (٥,١٦). وإن المعاملات يجب أن يتم تخفيضها بحوالي ١٠ ٪ لضواغط التصميم الأخرى (USBR 1987). ويتم حساب Q في العمود رقم (٥) بالمعادلة رقم (٥,٧٣) على اعتبار أن R تساوي ٢,١٣م. والعمود رقم (٦) يمثل قيمة H_a ويتم حسابها من عمود رقم (١) مطروح منه ٩٩٧,٧٧٧، ويتم حساب قيمة Q_a في العمود رقم (٧) باستخدام المعادلة رقم (٥,٧٤) على اعتبار أن قيمة R_a تساوي ١,٣٧م.

ولقد تم عمل منحني لتعيين معدل السريان عبر الهدار والفوهة ويتضح ذلك بالشكل رقم (٥,٤). ويتضح أن منحنيات سريان الهدار والفوهة تتقاطع عندما يكون منسوب سطح المياه للخزان يساوي ١٠٠٣,٠٥م.

الجدول رقم (٥,١٨). منحنى معايرة التصرف للهدار والفوهة.

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)
منسوب سطح الماء في الخزان	السريان خلال الهدار				السريان خلال الفوهة	
	H	H/R	C	Q	H_a	Q_a
١٠٠٠	صفر	صفر	صفر	صفر	٢,٢٢٣	–
١٠٠٠,٥	٠,٥	٠,٢٣٤٧	٢,١	٩,٩٣٦٥	٢,٧٢٣	–
١٠٠١	١	٠,٤٦٩٥	١,٨٨	٢٥,١٦٠٤	٣,٢٢٣	–
١٠٠١,٥	١,٥	٠,٧٠٤٢	١,٥٥	٣٨,١٠٩١	٣,٧٢٣	–
١٠٠٢	٢	٠,٩٣٩٠	١,١٦	٤٣,٩١٠٠	٤,٢٢٣	٥٠,٩١
١٠٠٢,٥	٢,٥	١,١٧٣٧	٠,٩٥	٥٠,٣٢٨٣	٤,٧٢٣	٥٣,٨٤
١٠٠٣	٣	١,٤٠٨٤	٠,٨١	٥٦,٣٢٨٣	٥,٢٢٣	٥٦,٦٢
١٠٠٣,٠٥	٣,٠٥	١,٤٣١٩	٠,٨٠	٥٧,٠٢٩٥	٥,٢٧٣	٥٦,٨٩
١٠٠٣,٥		–	–	–	٥,٧٢٣	٥٩,٢٧
١٠٠٤		–	–	–	٦,٢٢٣	٦١,٨٠
١٠٠٤,٥		–	–	–	٦,٧٢٣	٦٤,٢٤
١٠٠٥		–	–	–	٧,٢٢٣	٦٦,٥٨
١٠٠٥,٥		–	–	–	٧,٧٢٣	٦٨,٨٥
١٠٠٦		–	–	–	٨,٢٢٣	٧١,٠٤

o b e i k a n d l . c o m



الشكل رقم (٥,٤). منحنى تصرف قناة تصريف مجد الصباح.

قناة التصريف السيفونية Siphon Sfrillway: وهي تعمل بنفس طريقة السيفون. وهي تتكون من مدخل وقمة وتاج ودرجة (عتبة) ومدخل للهواء لاعتراض أو وقف السيفون عندما يتطلب هذا. وإن هذه المفايض تقوم بتصريف أحجام كبيرة نسبياً من المياه مع عرض ضيق بصورة نسبية للمصطبة. وإن تلك القنوات تكون مناسبة عندما تكون المساحة المتاحة محدودة والتصرف التصميمي صغير. إن التصرف لقنوات السيفون يتضح من معادلة الفوهة التالية (USBR 1978):

$$Q = C A_T \sqrt{(2 g H)} \quad \text{or} \quad q = C D \sqrt{(2 g H)} \qquad (٥,٧٧)$$

حيث إن:

Q = التصرف التصميمي.

q = التصرف لوحدة العرض للمصطبة.

D = عمق العنق.

A_T = مساحة العنق.

H = الضاغط المتاح بين منسوب سطح المياه بالخزان ومنسوب المياه بالخلف.

C = معامل تصريف الفوهة، يتراوح من ٠,٥٧ إلى ٠,٩٠ اعتمادا على عمق المياه ونصف قطر المنحنى عند العنق (Davis and Sorensen 1970 ; Zipparro and Hansen 1993).

إن أقصى تصريف يكون محددا باحتمال وجود تجويفات وتكونها عند العمق بسبب الضغوط تحت الجوية. وبفرض تدفق الدوامة الحر، يتم تقدير التصرف المحدود عن طريق:

$$q_{max} \leq R_c \sqrt{\{0.7\,(2\,g\,h)\}}\ \ \ln\left(R_s / R_c\right) \qquad (٥,٧٨)$$

حيث إن:

R_c = نصف قطر الانحناء عند المصطبة.

R_s = نصف قطر الانحناء عند الذروة.

h = الضغط الجوى بدلالة ارتفاع المياه تحت ظروف التصميم في الموقع.

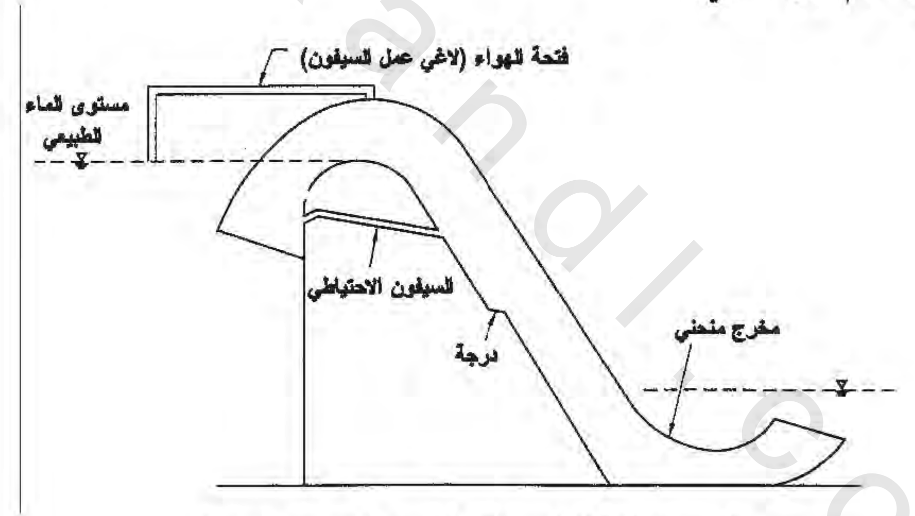
0.7 = المعامل الذي يقدم القيود على الضغط تحت الجوي المسموح به عند العنق.

في قناة تصريف السيفون، عندما يرتفع منسوب سطح مياه الخزان فوق قمة قناة التصريف، ينساب الماء فوق المصطبة (الشكل رقم ٥,٥). ويبدأ فعل السيفون وتصبح قناة التصريف في حالة إمداد (أي تبدأ في التدفق التام) وهذا يحدث بعد أن يتم طرد الهواء المحبوس في السيفون. فيما يلي بعض الأجهزة التي تبدأ أو تسهل عملية التدفق التام:

١- خطوة إلى الحائط الداخلي للجزء السفلي من قناة التصريف نحو المصب للسيفون من أجل تغيير مسار المياه لكي تصطدم بالجدار الخارجي، ويحدث امتلاء لقناة الخروج، ويتم إحكام الجزء السفلي لمنع دخول الهواء من جانب المسار نحو المصب.

٢- سيفون احتياطي أصغر يوضع تقريباً موازياً وأسفل السيفون الأساسي من أجل إخراج كمية صغيرة من المياه لإحكام الجزء السفلي.

٣- مخرج أفقي تقريباً أو مقعر من أجل خلق عمق للمياه عند المخرج كافياً لإحكام الجزء السفلي.



الشكل رقم (٥،٥). الرسم التخطيطي لقناة تصريف السيفون.

من أجل إلغاء عمل السيفون عند الارتفاع المطلوب، يتم استخدام مخرج للهواء يتكون من قناة منثنية لأسفل متصلة بالسيفون. فتحة الهواء تقع فوق غطاء السيفون بحيث يكون مدخلها أسفل قليلا من سطح مياه الخزان والمخرج عند المصطبة. وبمجرد أن ترتفع المياه فوق ارتفاع سطح المياه المصمم في الخزان، فإن مخرج

الهواء يتم إحكامه ويمكن أن يحدث السريان. وعندما يقل مستوي المياه أسفل قمة قناة التصريف تصبح فتحة الهواء مكشوفة ويدخل الهواء للسيفون. إن ذلك يؤدي إلى وقف عمل السيفون. وإن الشفة (مدخل أنبوب السيفون) تكون مغمورة أسفل ارتفاع سطح المياه المصمم في الخزان. وإن مخرج السيفون يكون عبارة عن مسار تشتيتي ولكنه ليس من الضروري أن يكون مغموراً أسفل ارتفاع مياه المؤخرة. إن الأبعاد الأولية لقنوات تصريف السيفون كالتالي:

- التاج (المصطبة) تكون أعلى قليلاً من منسوب سطح المياه التصميمي للخزان.
- مدخل مستطيل مساحته A (المدخل) $\cong 2\text{-}3\, A_T$.
- عرض العنق، $B_T \cong 2\text{-}3\, D$.
- نصف قطر المنحني عند المصطبة = $R_c \cong 1.5\, D$.
- ونصف قطر المنحني عند الذروة = $R_c \cong 2.5\, D$.
- مساحة أنبوب التهوية $\cong A_T/24$.

أبعاد التصميم النهائي يجب أن يتم تعيينها من اختبارات النموذج الهيدروليكي.

مثال رقم (٥,١٤): احسب الأبعاد الأولية لقناة تصريف السيفون ذات تصرف تصميمي ٨٥ م³/ ث وضاغط السقوط ٤,٩ م بين المستوى التصميمي لسطح المياه في الخزان ومستوى المياه في المؤخرة. استخدمت بطارية تتكون من ٥ قنوات سيفونية. وإن الضغط الجوي تحت ظروف التصميم يعادل ٩,١٤ م من المياه.

الحل:

Q (لكل قناة واحدة لتصريف السيفون) =

$$85/5 = 17\ m^3/s$$

$H = 4.9\ m \quad , \quad h = 9.14\ m$

وللتصرف الأولي نفرض إن

$B_T = 2D \quad , \quad C = 0.6$

ومن المعادلة رقم (٥,٧٧)

$$Q = 17 = 0.6 \times 2D \times D\sqrt{(2 \times 9.81 \times 4.9)}$$

وحيث

$$D = 1.2\ m \quad , \quad B_T = 2 \times 1.2 = 2.4\ m$$

و

$$A_T = 2.88\ m^2$$
$$q = Q/B_T = 17/2.4 = 7.08\ m^2/s$$
$$R_c = 1.5 \times 1.2 = 1.8\ m$$

و

$$R_s = 2.5 \times 1.2 = 3.0\ m$$

وباستخدام المعادلة رقم (٥,٧٨)

$$q_{max} = 1.8\sqrt{\{0.7(2 \times 9.81 \times 9.14)\}}\ln(3.0/1.8) = 10.3\ m^2/s \succ 7.08\ m^2/s$$

وبالتالي تكون قيمة D $(D = 1.2\ m)$ مناسبة

مساحة المدخل

$$A\ (inlet) = 2.5\ A_T = 2.5 \times 2.88 = 7.2\ m^2$$

استخدم نفس المساحة عند مخرج المسار نحو المصب الذي يعمل على التثبيت عند المدخل

$$A\ (vent\ pipe) = A_T/24 = 2.88/24 = 0.12\ m^2$$

أي أن مساحة قناة التنفيث = ٠,١٢ م٢. أو قطر نفث الهواء = ٠,٣٩ م.

قم بعمل درجة في الجدار الداخلي للجزء السفلي للمسار نحو المصب للسيفون كجهاز للسريان.

obeikandl.com

قناة التصريف المتدرجة Stepped Spillway: قناة التصريف المتدرجة تصمم ليكون لها قمة مستدقة الرأس (بذروة) مع وجه للمسار نحو المصب يتكون من عدة درجات رأسية من أجل الحصول على أقصي تشتيت للطاقة. ومن أجل تكامل البناء، تكون قناة التصريف المتدرجة مناسبة بشكل خاص للسدود الخرسانية المضغوطة الدوارة. ويمكن تقسيم التدفق فوق المفايض المتدرجة إلى أنظمة تدفق مغترب وأنظمة تدفق كشاطة (Chanson 1994). ويتميز التدفق المغترب بتعاقب الانبثاقات حرة السقوط التي ترتطم على الدرجة التالية متبوعة بقفزة متطورة جزئياً أو كلياً. ويحدث نظام التدفق المغترب على قناة تصريف مسطحة نسبياً ذات الدرجات الكبيرة والتصرفات الصغيرة. وفي نظام تدفق الكشاطة، يتدفق الماء كمجرى مائي متماسك يكشط فوق الدرجات. ومن ناحية أخرى، ففي حالة السدود الكبيرة، يمكن أن يشتت تدفق الكشاطة طاقة أكثر من التدفق المغترب. ولعمل التصميات الأولية، فإن فواقد الطاقة للمفايض المتدرجة التي لا تحتوي على بوابات يمكن تقديرها عن طريق التالي (Chanson 1994):

١- التدفق المغترب:

$$\Delta H/H_{max} = 1 - \left\{\left[0.54\ (d_c/h)^{0.275} + 1.715\ (d_c/h)^{-0.55}\right] / \left[1.5 + H_{dam}/d_c\right]\right\}$$
(٥,٧٩)

٢- تدفق الكشاطة:

$$\Delta H/H_{max} = 1 - \left\{\left[(f/8\sin\theta)^{1/3}\ \cos\theta + 0.5\ (f/8\sin\theta)^{-2/3}\right] / \left[2/3 + H_{dam}/d_c\right]\right\}$$
(٥,٨٠)

حيث إن:

H_{dam} = ارتفاع قمة قناة التصريف فوق نقطة الارتكاز.

d_c = العمق الحرج = $(q^2/g)^{1/3}$.

q = تصرف قناة التصريف لكل وحدة طول من المصطبة.

$$H_{max} = H_{dam} + 1.5\, d_c$$

h = ارتفاع الدرجة الواحدة.

ΔH = الفاقد في الضاغط (أي الفرق بين H_{max} والضاغط الخلفي عند قاع قناة التصريف).

f = معامل الاحتكاك للسريان فوق الدرجات الذي يتغير من ٠,٥ إلى ٤، والقيمة المتوسطة تساوي ١,٣.

θ = زاوية ميل قناة التصريف مع الخط الأفقي.

من المقرر أن يحدث تدفق الكشاطة عندما تكون قيمة (d_c/h) أكبر من ٠,٨ تقريباً، بينما يحدث التدفق المغترب عندما تكون قيمة (d_c/h) أقل من ٠,٨ تقريباً (Chamani and Rajaratnam 1994). وفي حالة قناة التصريف المتدرجة فإن فاقد الطاقة في نظام التدفق المغترب يتم تقديره من خلال المعادلة التالية:

$$\Delta E/E_o = \Delta H/H_{max} = 1 - \{(1-\alpha)^N [1 + 1.5\,(d_c/h) + \sum (1-\alpha)^i\}/\{N + 1.5\,(d_c/h)\} \quad (٥,٨١)$$

حيث إن:

N = عدد الدرجات.

E_0 = الطاقة الكلية.

ΔE = الفقد في الطاقة لقناة التصريف المتدرجة (أي الفرق بين E_0 والطاقة المتبقية عند طرف قناة التصريف المتدرجة).

$\sum$ = رمز للمجموع من $i = 1$ إلى $i = N - 1$

obeikandi.com

$$\alpha = a - b \log(d_c / h)$$

$$a = 0.30 - 0.35(h / l)$$

$$b = 0.54 + 0.27(h / l)$$

حيث إن:

l = طول الدرجة.

سرعات الطرف (نقطة الارتكاز) التقريبية في قناة التصريف المتدرجة وغير المتدرجة موضحة في الجدول رقم (٥,١٩) (Sorensen 1985; Campbell and Johnson 1984).

الأبعاد الأولية للمفايض المتدرجة في حالة سد ستيل ووتر العلوي في ولاية يوتا (Young 1982) وسد مونكسفيل في ولاية نيوجيرسي (Sorensen 1985) موضحة في الجدول رقم (٥,٢٠). ويمكن أن تكون تلك الأبعاد إرشاداً لتقدير الأبعاد الأولية في حالة المفايض المتدرجة الشبيهة بها. ويجب أن تتم أبعاد التصميم النهائية عن طريق تجارب النموذج لأحوال وظروف الموقع المحددة.

الجدول رقم (٥,١٩). سرعات الطرف (الارتكاز) للمفايض المتدرجة وغير المتدرجة.

تصريف قناة التصريف	سرعة الطرف (م/ ث)	
(م^3/ ث)	المفايض المتدرجة	المفايض غير المتدرجة
١,٩	٤,٦	≤١٦,٨
٤,٦	٧,٤	≤٢٠,٧
٧,٤	٩,١	≤٢٢,٦
٩,٣	١١,٣	≤٢٢,٩
١٣,٩	١٢,٢	≤٢٤,٤

المصدر: Campbell and Johnson (1984) ; Sorensen (1985).

الجدول رقم (٥,٢٠). الأبعاد الأولية للمفايض (قنوات التصريف) المتدرجة.

المتغير	المياه الساكنة بالسد يوتا (Young 1982)	سد مونكسفيل نيو جيرسي (Sorensen 1985)
ارتفاع قناة التصريف (م)	٦١	٢٧,٤ – ٣٦,٦
عرض قناة التصريف (م)	١٨٣	٦١
الضاغط التصميمي فوق المصطبة (م)	١,٠٧	٢,٦
التصرف التصميمي (م³/ ث)	٢,٣٩	٩,٣
ميل سطح الماء بقناة التصريف	٠,٦ أفقي: ١ رأسي[a]	٠,٧٨ أفقي: ١ رأسي
ارتفاع الدرجات (م)	٠,٦١	٠,٦١[b]
طول الدرجات (م)	٠,٣٧	٠,٤٨[b]
شكل المصطبة	الشكل المغترب (المنحني) حتى ٦,١ م أسفل المصطبة	الشكل مستدق الرأس قرب المصطبة
السرعة عند الطرف (م/ ث)	٨ – ١١	٩,٢
$\Delta E/E_o$	٠,٧٥	–
طول الحوض الثابت (م)	٧,٦ (تقريبا نصف الحوض الثابت التقليدي)	–

a : ميل قناة التصريف ٠,٣٢ أفقي: ١ رأسي حتى ١٥,٨ م أسفل الجزء المنحني.

b : ارتفاع الدرجة = ٠,٤٦ م ، طول الدرجة ٠,٣٦ م، وارتفاع الدرجة = ٠,٣٠ م، طول الدرجة = ٠,٢٤ م ضمن الجزء مستدق الرأس قرب المصطبة.

المصدر: Young (1982) ; Sorensen (1985) .

obeikandl.com

مثال رقم (٥,١٥): احسب الفاقد في الضاغط في قناة تصريف متدرجة بدون بوابة تحت ظروف التدفق المغترب مع اعتبار h تساوي ٠,٦١ م، l تساوي ٠,٤٨ م، d_c تساوي ٠,١٨ م، و H_{dam} تساوي ٢٧,٤ م.

الحل:

لهذا المثال إن

$$h/l = 0.61/0.48 = 1.27$$

و

$$d_c/h = 0.18/0.61 = 0.295$$

وباستخدام المعادلة رقم (٥,٧٩)

$$\Delta H/H_{max} = 1-\left\{\left[0.54\ (0.295)^{0.275} + 1.715\ (0.295)^{-0.55}\right]/\left[1.5+27.4/0.18\right]\right\}$$
$$= 1-\left[(0.386+3.356)/(1.5+152.22)\right] = 0.976 \text{ or } 97.6\%$$

قنوات تصريف المتاهة والمفايض ذات المدخل شبه الدائري أو مزدوج الجانب:

Labyrinth Spillways and Spillways with Semicircular or Double-Sided Entry

وهي قنوات تصريف لولبية الشكل (أو المنطوية) على السطح وبذلك يكون هناك طول قمة كبير متاح في مساحة محددة من موقع قناة التصريف. ويكون طول المصطبة من ثلاث إلى خمس مرات من العرض المتاح، وتكون سعة التصرف ضعف هذا التصرف الخاص بقمة الفيضان القياسي الذي يوجد في نفس العرض المتاح. وتتشكل المتاهة عن طريق سلسلة من الجدران العمودية على سطح منبع التدفق للمجرى المائي والمائلة على سطح مصب التدفق للمجرى المائي. ويمكن أن يكون ميل سطح مصب التدفق للمجرى المائي من ١ أفقي: ١٠ رأسي إلى ١ أفقي: ١٦ رأسي. وتكون هذه القنوات مناسبة في المواقع التي تكون فيها المساحة المتاحة غير

كافية لوضع الطول الكلي من قناة التصريف بسبب القيود الطوبوغرافية (التضاريسية) أو العناصر الإنشائية للمباني الموجودة. وبشكل عام، تستخدم على أنها قنوات تصريف خدمة غير مبوبة أو قنوات تصريف احتياطية للخزانات أو كسدود تحكم أو تفريق صغيرة في القنوات. ويكون الأداء الهيدروليكي لقنوات تصريف المتاهة معقداً بعض الشيء ويعتمد على طول المصطبة لكل دائرة، وعدد الدوائر التي تكوّن الشكل المشرشر، وارتفاع المصطبة، وزاوية المتاهة مع التدفق، والضاغط فوق المصطبة، وشكل المصطبة، وسمك الجدار، وتضاريس المصطبة. ويجب أن يكتمل التصميم عن طريق النموذج الهيدروليكي (الفيزيائي).

يمكن تقدير الأبعاد الأولية لقناة تصريف المتاهة باستخدام المعادلات العملية اعتماداً على تجارب النموذج (الشكل رقم ٥,٦). وواحدة من هذه المعادلات تعطى التالي (Tullis *et al.* 1995):

سمك الجدار =

$$t = P / 6$$

والعرض الداخلي عند المصطبة =

$$A = t \text{ to } 2t$$

والعرض الخارجي عند المصطبة =

$$D = A + 2t \tan(45 - \alpha/2)$$

وطول المصطبة الفعال =

$$L = 1.5\,Q \,/\, \left[C_a\, h^{1.5} \sqrt{(2g)}\right]$$

وطول المنحدر الموازى للتدفق = طول المتاهة =

$$B = \left[\{L/2N\} + t \tan(45\text{-}\alpha/2)\right] \cos\alpha + t$$

والطول الفعلي لقائمة الجانب =

$$L_1 = (B - t)/\cos\ \alpha$$

والطول الفعال لقائمة الجانب =

$$L_2 = L_1 - t\ \tan\ (45\text{-}\alpha/2)$$

والطول الكلي للجدران =

$$L_3 = N\ (2L_1 + D + A)$$

والمسافة بين الدوائر =

$$\omega = 2L_1\ \sin\alpha + A + D$$

وعرض المتاهة (عمودياً على التدفق) =

$$W = N\ \ \omega$$

وطول السد الخطى المكافئ لنفس التدفق =

$$1.5Q/\left[C_L H^{1.5}\sqrt{(2g)}\right]$$

ونسبة المسافة بين الدوائر إلى طول المصطبة =

$\omega/P \cong 3$ to 4.

حيث إن:

P = ارتفاع قناة التصريف فوق أرضية مصعد المجرى المائي.

H = الضاغط الكلي فوق المصطبة.

$N[2L_1 + A + D]$ = طول المصطبة الكلي.

N = عدد الدوائر.

W = العرض المستقيم بين الأكتاف.

α = زاوية المتاهة.

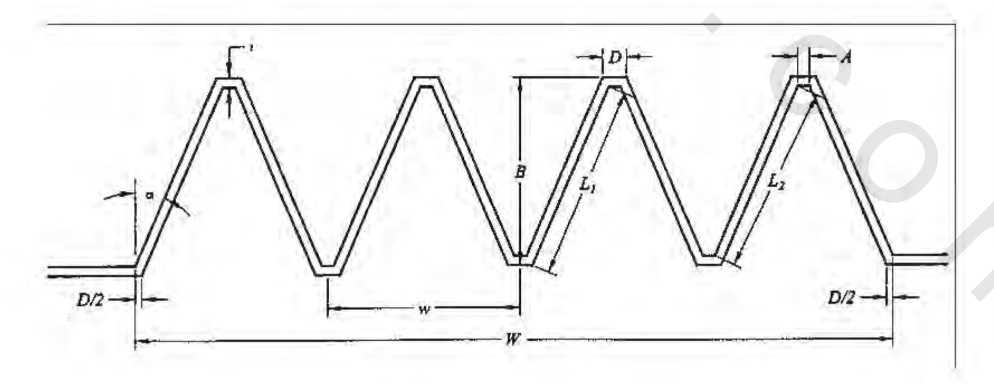
obeikandi.com

C_L = معامل التصرف للفيضان الخطي في السد الصغير المتراوح من حـوالي 0.61 في حالة H / P = 0.1 ، إلى 0.76 في حالة H / P = 0.9 .

المعادلات العملية لتقدير معامل التصرف C_d للقمم المستديرة هي كما يلي:

- $C_d = 0.49 - 0.24\ (H/P) - 1.20\ (H/P)^2 + 2.17\ (H/P)^3 - 1.03\ (H/P)^4$
  for $\alpha = 6^\circ$
- $C_d = 0.49 - 1.08\ (H/P) - 5.27\ (H/P)^2 + 6.79\ (H/P)^3 - 3.83\ (H/P)^4$
  for $\alpha = 8^\circ$
- $C_d = 0.49 + 1.06\ (H/P) - 4.43\ (H/P)^2 + 5.18\ (H/P)^3 - 1.97\ (H/P)^4$
  for $\alpha = 12^\circ$
- $C_d = 0.49 + 1.00\ (H/P) - 3.57\ (H/P)^2 + 3.82\ (H/P)^3 - 1.38\ (H/P)^4$
  for $\alpha = 15^\circ$
- $C_d = 0.49 + 1.32\ (H/P) - 4.13\ (H/P)^2 + 4.24\ (H/P)^3 - 1.50\ (H/P^4)$
  for $\alpha = 18^\circ$

تقوم أبعاد التصميم على المتاهة مع كون ميول منبع ومصب تدفق المجرى المائي أفقيـة على نفس الارتفاع بفرض أن قناة مصب التدفق للمجرى المائي لها ميل فوق حرج.



الشكل رقم (٥،٦). شكل سطح أربعة دوائر من قناة تصريف المتاهة.

مثال رقم (٥,١٦): استنتج الأبعاد الأولية لقناة تصريف المتاهة لتصرف تصميمي مقداره ١٥٣٨ م³/ ث، والضاغط فوق المصطبة ١,٩٧٥ م، وعدد الدوائر N ١٣، وارتفاع المصطبة P يساوي ٣,٠٥ م، وزاوية قوائم الجانب α = ٨°. هذا المثال مأخوذ من Tullis *et al.* (1995).

الحل:

$$H = 1.975\ \text{m} \quad , \quad H/P = 0.648 \quad , \quad t = P/6 = 0.508\ \text{m}$$

$$A \cong 0.95\ \text{m} \quad , \quad D = 0.95 + 2 \times 0.508\ \tan 41^\circ = 1.83\ \text{m}$$

$$C_d = 0.49 + 1.08\ (0.648) - 5.27\ (0.648)^2 + 6.97\ (0.648)^3\ -2.83\ (0.648)^4$$
$$= 0.3255$$

$$L = 1.5 \times 1{,}538 / \left[0.3255 \times 1.975^{1.5} \sqrt{(2 \times 9.81)}\right] = 576.5\ \text{m}$$

$$B = \left[\{576.5/(2 \times 13)\} + 0.508\ \tan 41^\circ\right]\ \cos 8^\circ + 0.508 = 22.90\ \text{m}$$

$$L_1 = (22.90 - 0.508)/\cos 8^\circ = 22.61\ \text{m}$$

$$L_2 = 22.61 - 0.508\ \tan 41^\circ = 22.17\ \text{m}$$

$$L_3 = 13\ [2 \times 22.61 + 1.83 + 0.95] = 624\ \text{m}$$

$$\omega = 2 \times 22.61\ \sin 8^\circ + 0.95 + 1.83 = 9.07\ \text{m}$$

$$W = 13 \times 9.07 = 118\ \text{m}$$

$$\omega/P = 9.07/3.05 \cong 2.97$$

وطول قناة تصريف الفيضان الخطي لنفس التدفق (مع $C_L = 0.76$):

$$1.5 \times 1538 / \left[0.76 \times 1.975^{1.5} \sqrt{(2 \times 9.81)}\right] = 247\ \text{m}$$

أحواض الترسيب وأجهزة تشتيت الطاقة

Stilling Basins and Energy Dissipation Devices

أحواض هي أجهزة تستخدم لتشتيت الطاقة الحركية للمياه الساقطة عند طرف قناة التصريف لكي تقلل من احتمالية الانجراف قبل أن تصل إلى مهبط القناة.

وتكون المنحنيات البيانية التجريبية متاحة لتقدير السرعات عند طرف المفايض مع ميول أسطح مصب القناة من ٦,٠ أفقي: ١ رأسي إلى ٠,٨ أفقي إلى ١ رأسي (Peterka 1978; Chow 1959). وبالتبادل، يمكن تقدير سرعات الطرف عن طريق:

$$V = C\sqrt{\left[2g(Z - H/2)\right]} \quad (٥,٨٢)$$

حيث إن:

V = سرعة الطرف (م/ ث).

Z = السقوط من منسوب سطح مياه الخزان إلى طرف قناة التصريف (م).

H = الضاغط فوق قمة قناة التصريف (م).

C = معامل الاحتكاك والفواقد الأخرى على امتداد سطح قناة التصريف أو نسبة السرعة الفعلية إلى السرعة النظرية.

إن قيم C لقيم Z و H المختلفة يمكن الحصول عليها من المنحنيات البيانية سالفة الذكر (Peterka 1978). وإن سرعات الطرف للسقوط والضواغط المختارة فوق قمة قناة التصريف موضحة في الجدول رقم (٣,١٣).

في المجال العملي، فإن تصاميم أحواض الترسيب يجب أن يتم إنهاؤه عن طريق اختبارات النماذج الهيدروليكية. وبناءاً على اختبارات النماذج الهيدروليكية، فقد تم تطوير أنواع عديدة من أحواض الترسيب لظروف تدفق مختلفة. وقد قامت هيئة المحافظة على التربة بتطوير أحواض الترسيب الخاصة بمساقط سان أنطوني (SAF) للاستخدام في أبنية الصرف الصغيرة حيث إن أرقام فرود (F) تتغير من 1.7 إلى 12، التي يمكن ألا تبرر دراسات النموذج الهيدروليكي الفردي (UADA 1959). وأحواض الترسيب في مساقط سان أنطوني SAF تشمل حواجز الشلال، وسناد

طرفي، وأرضية مستوية. وأبعاد العناصر المتعددة من أحواض الترسيب لمساقط سان أنطوني SAF هي:

$$F = V_1 / \sqrt{(gy_1)}$$ (٥,٨٣أ)

طول الحوض = L_B

$$L_B = 4.5\, y_2 / F^{0.76}$$ (٥,٨٣ب)

ارتفاع حواجز الشلال = y_1

Heigh of chute blocks = y_1 (٥,٨٣ج)

عرض حواجز الشلال = $3\, y_1 / 4$

Width of chute blocks = $3\, y_1 / 4$ (٥,٨٣د)

المسافة بين حواجز الشلال = $3\, y_1 / 4$

Spacing of chute blocks = $3\, y_1 / 4$ (٥,٨٣هـ)

مسافة الحواجز الأرضية من نهاية مصعد الحوض الساكن = $L_B / 3$

Distance of floor blocks from upstream end of silling basin = $y_B / 3$ (٥,٨٣و)

ارتفاع الحواجز الأرضية = y_1

Heigh of floor blocks = y_1 (٥,٨٣ز)

عرض الحواجز الأرضية = $3\, y_1 / 4$

Width of floor blocks = $3\, y_1 / 4$ (٥,٨٣ح)

المسافة بين الحواجز الأرضية = $3\, y_1 / 4$

Spacing of floor blocks = $3\, y_1 / 4$ (٥,٨٣ط)

ارتفاع سناد الطرف = $0.07\, y_2$

openkanad.com

$$\text{Heigh of end sill} = 0.07\ y_2 \quad (٥,٨٣ك)$$

حيث إن:

V_1 = السرعة قبل القفزة.

y_1 = عمق المياه قبل القفزة.

y_2 = عمق المياه التبادلي أو المتتابع بعد القفزة.

ويتم وضع الحواجز الأرضية في نمط متعرّج بالنسبة لحواجز الشلال وهي مربعة السطح مع أسطح المصب والمنبع الرأسية، أو مع أسطح المصب المائلة وأسطح المنبع الرأسية.

ويمكن تقدير ارتفاع الماء المنصرف (مياه المؤخرة) أو عمقها في مصب القناة للحوض الساكن باستخدام حسابات القطاع الجانبي لسطح المياه لتصرف التصميم (USACE 1991c, 1998).

مثال رقم (٥,١٧): استنتج الأبعاد التمهيدية لحوض مساقط سان أنطونى الساكن لقناة تصريف، إذا علمت إن Z = ٩,٢ م و H = ١,٦ م، ومعامل التصريف لقمة مستدقة الرأس = ٢,٢٢. ويتكون قاع النهر من رمال ناعمة d_{50} = ٠,٣٠ مم ومنسوب مياه التصميم المنصرفة (المياه الخلفية) هو ١٠٠ م.

الحل:

$$q = 2.22\,(1.6)^{1.5} = 4.5\ \text{m}^2/\text{s}$$

ومن الجدول رقم (٣,١٣)، سرعة الطرف = السرعة قبل القفزة =

$$V_1 \cong 12\ \text{m/s}$$

$$y_1 = 4.5/12 = 0.375\ \text{m}$$

$$F = \left[12 \Big/ \sqrt{(9.81 \times 0.375)}\right] = 6.26$$

$$y_2\,(0.375/2)\left[\sqrt{\{1+8\times 6.26^2\}}-1\right]=3.138\text{ m}$$

لتعليل بعض الانخفاض في ارتفاع الماء الخلفي (المتصرف) الناتج عن الانجراف في قناة المصب، نضع أرضية الحوض الساكن حوالي ٣,٧٥ م أسفل منسوب الماء الخلفي أو على منسوب ٩٦,٢٥ م.

طول أرضية الحوض:

$$L_B=(4.5\times 3.138)/(6.26^{0.76})=3.5\text{ m}$$

ارتفاع حواجز الشلال = ارتفاع حواجز الأرضية = ٠,٣٧٥ م.

وعرض والمسافة بين حواجز الشلال والحواجز الأرضية =

$$3\times 0.375/4=0.28\text{ m}$$

ومسافة الحواجز الأرضية من حافة منبع الحوض الساكن =

$$3.5/3=1.17\text{ m}$$

وارتفاع سناد الطرف =

$$0.07\times 3.138=0.22\text{ m}$$

عامل لاسي للطمي =

$$1.76\sqrt{0.30}=0.96$$

وعمق الانجراف المحتمل أسفل ارتفاع الماء المتصرف (المياه في الخلف) =

$$2.0\times R=2.0\times 1.337\,(4.5^2/0.96)^{1/3}=7.39\text{ m}$$

(انظر المعادلة رقم ٥,٢٤ب).

قم بعمل قطع في الركيزة المستعرضة بحوالي ٧,٥ م أسفل ارتفاع الماء المتصرف عند نهاية الحوض الساكن.

يجب التحقق من سمك أرضية الحوض الساكن حتى تكون آمنة ضد ضغوط الأحمال العليا.

وقد قامت USBR بتطوير أحواض ساكنة متعددة يمكن تطبيقها في ظروف هيدروليكية مختلفة (Peterka 1978):

١- الحوض I هو أبسط حوض ساكن أولي مع أرضية مسطحة طولها يساوي طول القفزة. ويمكن تقدير طول القفزة، L_j، لقيم F المختلفة من الجدول رقم (٣,١٥). وهذا الحوض ليس له أي ملحقات ولهذا يكون طول الحوض المطلوب كبيراً نسبياً.

٢- الحوض II تم اختباره لقيم F من ٤,١ إلى ١٤,٣٨. وهو يشمل حواجز شلال ارتفاعها وعرضها وتباعدها يساوي y_1 وسناد مسنن ارتفاعه $0.2\ y_2$ عند طرف الحوض، ولكن ليس له حواجز أرضية. وعرض والمسافات بين التسننات $0.15\ y_2$. ويتم ضبط ارتفاع أرضية الحوض لاستخدام عمق الماء الخلفي التبادلي زائد عامل سلامة إضافي. ويمكن للتقريب وضع طول للحوض عند عمق $1.05\ y_2$ أسفل منسوب ماء التصميم الخلفي (المتصرف). ويمكن استنباط طول الحوض من الجدول رقم (٥,٢١). ويتم تصميم الحوض باستخدام المنحنيات البيانية التجريبية التي تم تطويرها اعتماداً على اختبارات النموذج الهيدروليكي وتكون مناسبة للسدود المرتفعة والمفايض العالية حتى ٦١ م في الارتفاع ولتدفقات حتى ٤٦,٤ م^3/ ث لكل متر عرضي من الحوض.

الجدول رقم (٥,٢١). طول أحواض الترسيب II و III .

F	L/y_2 (الحوض II)	L/y_2 (الحوض III)
٤	٣,٦	–
٤,٢٥	٣,٧٨	٢,٢
٦	٤	٢,٤٨
٨	٤,٢	٢,٦٤
١٠	٤,٣٥	٢,٧٥
١٢	٤,٣٨	٢,٧٨
١٤	٤,٣٦	٢,٧٨
١٤,٢٥	٤,٣٢	٢,٧٨
١٦	–	٢,٧٥

المصدر: Peterka (1978).

obeikandl.com

مثال رقم ٥,١٨: استنتج الأبعاد الأولية لحوض USBR الساكن لقناة تصريف، حيث Z = ٤٠ م (من منسوب سطح مياه منبع التدفق إلى قاع نهر المخرج)، H = ٥,٤ م، ومنسوب الماء المتصرف ١٠٠ م، ومعامل تصرف قناة التصريف ٢,٢٣.

الحل:

$$q = 2.23\left(5.4\right)^{1.5} = 28\,m^2/s$$

ومن الجدول رقم (٣,١٣)، سرعة الطرف:

$$V_1 \cong 22\ m/s$$

و

$$y_1 = 28/22 = 1.27\ m$$

$$F = \left[22/\sqrt{\left(9.81\times1.27\right)}\right] = 6.233$$

$x\ y_2 = (1.27/2)\ \left[\sqrt{\{1+8\times 6.233^2\}-1}\right] = 10.58\ m$

ولتعليل بعض الانخفاض في منسوب الماء المتصرف الناتج عن الانجراف في قناة المصب، ضع أرضية الحوض الساكن حوالي ١٢م أسفل منسوب الماء الخلفي أو على منسوب ٨٨م.

ومن الجدول رقم (٥,٢١):

$L/y_2 = 4.1$

وطول الحوض =

$L = 43.4\ m$

وارتفاع حواجز الشلال = عرض حواجز الشلال =

$y_1 = 1.27\ m$

وارتفاع السناد المسنن =

$0.2\ y_2 = 1.12\ m$

وعرض السناد المسنن= المسافات البينية =

$1.5\ y_2 = 1.59\ m$

إذا وجد أن منسوب أرضية الحوض (٨٨ م) أسفل كثيراً من قاع النهر عند المخرج، فإن السقوط الكلي، Z ، من منسوب سطح مياه منبع النهر إلى أرضية الحوض يمكن أن يكون أكبر من ٤٠ م، والسرعة، V_1 ، المقدرة من الجدول رقم (٣,١٣) يمكن أن تكون أكبر من ٢٢ م/ ث. وفي هذه الحالة، يمكن إعادة الحسابات مع القيمة المعدلة من Z . ويمكن تقدير عمق الركيزة المستعرضة وسمك أرضية الحوض كما هو موضح مسبقاً.

٣- الحوض III هو حوض ساكن قصير لأبنية القناة، وأعمال المخارج الصغيرة، والمفايض الصغيرة، وقد تم إثبات فاعليتها في حالة قيم F أكبر من ٤,٥.

openkandi.com

وهو يشمل حواجز الشلال، وحواجز الأرضية، وسناد طرفي. ويكون ارتفاع وعرض وتباعد حواجز الشلال مساوية لـ y_1، ما عدا أن ارتفاع حواجز الشلال لا يجب أن تكون أقل من ٠,٢ م. ويمكن أخذ قيم ارتفاع العارضات h_B، والسناد الطرفي h_s، من الجدول رقم (٥,٢٢). ويجب وضع سطح مصعد حواجز العارضات عند مسافة $0.8\ y_2$ من سطح مهبط حواجز الشلال، وميول سطح مهبط هذه الحواجز ١ أفقي: ١ رأسي، ويكون سطح منبع التدفق رأسياً، والقطاع العرضي شبه منحرف مع اتساع المصطبة على امتداد اتجاه التدفق يساوي ٠,٢ مرة من الارتفاع. ويتم الوصول للأبعاد النهائية للحوض باستخدام المنحنيات البيانية التجريبية التي تم تطويرها اعتماداً على اختبارات النموذج الهيدروليكي.

الجدول رقم (٥,٢٢). ارتفاعات حواجز العارضات والسناد الطرفي لحوض III.

h_s/y_1	h_B/y_1	F
١,٢	١,٢٥	٤
١,٣٥	١,٦	٦
١,٤٥	١,٩٥	٨
١,٥٥	٢,٣	١٠
١,٦٥	٢,٦	١٢
١,٨	٢,٩٥	١٤
١,٩	٣,٣	١٦
١,٩٥	٣,٤٥	١٧
٢,٠	–	١٨

المصدر: Peterka (1978).

ooeIkandil.com

٤- حوض IV يكون مناسباً لأبنية القناة، أو سدود التحويل، أو حالات السقوط الصغيرة مع قيم F بين ٢,٥ و ٤,٥ ويمكن تطبيقه على القطاعات العرضية فقط. وهو يشمل حواجز الشلال وسناد طرفي لكن لا يوجد حواجز عارضات. وتصميم الحوض هذا يقلل ارتفاع الموجات المتكونة في القفزات غير التامة أو غير المناسبة.

٥- حوض V له مئزر مائل. وإذا كان عمق المياه المتصرفة المتاح ملائماً، يتم تقرير المئزر الأفقي والمائل تبعاً للأداء الجيد المساوي لقيم الارتفاع F . خطوات التصميم التمهيدي لحوض V هي كما يلي:

(أ) اختر تركيباً مناسباً للمئزر المائل.

(ب) ضع المئزر حتى تكون مقدمة القفزة عند نهاية ميل منبع التدفق للتصرف الأقصى أو للتصرف التصميمي وارتفاع الماء المتصرف المناظر باستخدام البيانات من المنحنيات البيانية التجريبية المنشورة (Peterka 1978). ويمكن أن يكون من الضروري رفع أو خفض المئزر أو تغيير ميوله بعد محاولات عديدة.

(ج) احصل على طول القفزة L_j، للتصرف التصميمي من القيم الجدولية (Peterka 1978) واختر طول مئزر مساوي لطول القفزة. ويمكن إضافة مئزر أفقي صغير عند نهاية المئزر المائل.

(د) قم بعمل سناد طرفي مستطيل بارتفاع بين $0.05\ y_2$ و $0.10\ y_2$ وميل سطح المنبع بين ٢ أفقي: ١ رأسي و ٣ أفقي: ١ رأسي.

في حالة المفايض العالية التي لها تصرف تصميم يتجاوز ٤٦ م^3/ ث، فإنه يجب القيام بدراسة النموذج الهيدروليكي.

العمق والطول التبادلي للقفزة يمكن أن يتم تقديرهما من الجدول رقم (٥,٢٣) أو من المنحنيات البيانية المنشورة (Peterka 1978).

٦- حوض VI وهو عبارة عن مشتت طاقة بالتصادم المحتوي في بناء صندوقي الشكل صغير نسبياً، والذي لا يتطلب ماء متصرف لنجاح الأداء. وهو يستخدم بشكل شائع لمخارج الأنبوب. ويتم اختيار أبعاد التصميم للحوض من القيم الجدولية اعتماداً على تجارب النموذج (Peterka 1978).

الجدول رقم (٥,٢٣). الأعماق التبادلية وطول القفزة على المنزر المائل.

F	ميل المنزر ٥ أفقي: ١ رأسي		ميل المنزر ٤ أفقي: ١ رأسي		ميل المنزر ٣ أفقي: ١ رأسي	
	y_2/y_1	L/y_2	y_2/y_1	L/y_2	y_2/y_1	L/y_2
٢	٤,٨	٢,٥٥	٥,٥	٢,٢	٦,٨	-
٤	١٠	٣,١٥	١٢	٢,٨	١٤	-
٦	١٥,٦	٣,٣٨	١٨,٥	٢,٩٥	٢٢	-
٨	٢١	٣,٤	٢٥	٣	٣٠	-
١٠	٢٦,٥	٣,٤	-	-	-	-

- توضح أن نتائج الاختبار غير متاحة.

المصدر: Peterka (1978) ; Chow (1959).

٧- حوض VII يشمل حيز ضيق ودلو مصمت لأجل قنوات تصريف السد العالية والمتوسطة والمنخفضة. ويتم اختيار أبعاد تصميم الحوض من القيم الجدولية اعتماداً على تجارب النموذج (Peterka 1978).

٨- حوض VIII يستخدم لتشتيت طاقة مهبط صمامات ثقب النافورة.

٩- حوض IX يكون مناسباً للقنوات أو حالات سقوط قناة التصريف حتى وحدة تصرف ٥,٦ م³/ ث لكل متر عرضي من الشلال. وهو يشمل شلالاً على ميل ٢ أفقي: ١ رأسي أو أكثر انبساطاً لتتمم السقوط في قاع القناة. ويتم وضع الحواجز المتعرجة على الميل لتشتيت الطاقة. وخطوات حساب الأبعاد الأولية للحوض هي كما يلي:

(أ) قم بعمل سناد قصير عند حافة ميل منبع التدفق لتكوين بحيرة ساكنة. وارتفاع السناد يمكن أن يكون حوالي ٠,٦١ م.

(ب) استنتج $y_c = (q^2/g)^{1/3}$ حيث $q = Q/B$ و Q = التصرف التصميمي و B = عرض الشلال.

(ج) قم بعمل حواجز العارضات بارتفاع $H = 0.5\,y_c$ وعرض الحواجز = التباعد = $1.5\,H$. ويجب وضع الحواجز الجزئية التي عرضها يساوى من $1/3\,H$ إلى $2/3\,H$ مقابل جدار واحد في صفوف ١ و٣ و٥ و٧، ... إلخ، ومقابل الجدار الأخر في صفوف ٢ و٤ و٦ و٨، ...إلخ. والمسافة بين الصفوف المتجاورة لحواجز الشلال يجب أن تساوي $2\,H$. ويمكن وضع الحواجز عند أسطح منبع التدفق عمودي على سطح الشلال أو مع الأسطح الرأسية.

(د) يجب وضع الحماية من الانجراف عند نهاية مصب الشلال.

١٠- حوض X يقصد به قنوات تصريف الأنفاق لكنه يستخدم أيضاً للشلالات المفتوحة. وهو يتكون من دلو مقلوب عند نهاية مصب النفق، أو شلال، أو سطح قناة تصريف. وتعرف أحواض الترسيب من هذا النوع بقفزة الزلاجة، متغيرة المسار، غير المركزة، المقلوبة، أو دلو المسار المنحني ويمكن تطبيقها لقيم F

تتراوح من ٦,٨ إلى ١٠,٣. ويختلف انحدار الدلو المقلوب من حوالي ١٥° إلى ٣٥° مع الأفقي. ويجب أن يكون نصف قطر الدلو على الأقل أربع مرات من عمق التدفق في الدلو. طول مسار النفث (أي، المسافة الأفقية من طرف أو حافة مهبط الدلو إلى النقطة حيث يسقط الانبثاق رأسياً لأسفل)، X، وارتفاع النفث فوق الدلو المقلوب يمكن أن يتم تقريبه عن طريق المعادلة:

$$X = V^2 \sin 2\theta / g \quad (\text{٥,٨٤ أ})$$

$$r = rise = (V \sin \theta)^2 / 2g \quad (\text{٥,٨٤ ب})$$

حيث إن:

θ = زاوية الطرف إلى الأفقي.

V = سرعة النفث الخارج من الدلو.

ويمكن أن يكون لنهاية طرف الدلو المقلوب ميل أفقي قصير أو يمكن أن يكون له حافة مائلة متبوعة بسطح مصب رأسي. ويتم عمل مهبط السطح الرأسي للدلو المقلوب، وبركة انغمار لتشتيت طاقة النفث للدلو. وعندما يسقط النفث رأسياً على قاع النهر، يكوّن حفرة جرف. وأقصى عمق للجرف يمكن أن يتم تقريبه عن طريق المعادلة التالية (USBR 1987):

$$D_s = 1.897\, H^{0.225}\, q^{0.54} \quad (\text{٥,٨٥})$$

حيث إن:

D_s = أقصى عمق للجرف أسفل ارتفاع الماء المتصرف (م).

H = منسوب السقوط من منسوب الخزان إلى منسوب الماء المتصرف (م).

q = وحدة التصرف (م٣/ ث) لكل متر عرض من الشلال أو الدلو.

ما لم يحتوى قاع النهر على صخور صلبة غير قابلة للتآكل، يجب عمل بركة انغمار من الخرسانة المسلحة للحماية من الانجراف. ويمكن وضع أرضية بركة الانغمار عند عمق، D_s، أسفل ارتفاع الماء المتصرف. ويمكن أن يكون طول بركة الانغمار أكبر قليلاً من طول مسار النفث، X.

الأبعاد الأولية للتقييم المقارن لتصاميم الحوض الساكن البديلة أو تقديرات التكلفة الأولية يمكن أن يتم باستخدام البيانات المعروضة في هذا الجزء. ويجب إنهاء التصاميم التفصيلية لظروف معينة باستخدام المنحنيات البيانية المنشورة للأنواع الفردية من الأحواض واختبارات النموذج الهيدروليكي.

مثال رقم (٥,١٩): استنتج الأبعاد الأولية للحوض الساكن من نوع الدلو لقفزة الزلاجة وبركة الانغمار لقناة تصريف، باعتبار أن H = ٦,١ م، Z = ١٠٠ م، q = ٣٣ م³/ ث. ومنسوب ماء التصميم المتصرف (الخلفي) ٩٥ م أسفل منسوب سطح مياه التصميم في الخزان، والذي يكون على منسوب ١٠٠٠ م. اعتبر أن θ = ٢٥°.

الحل:

من المعادلات رقم (٥,٨٢) ورقم (٥,٨٤ أ)، يمكن ملاحظة أن السرعة عند قاع السقوط تختلف تقريباً باختلاف الجذر التربيعي لصافي السقوط وطول بركة الانغمار تختلف باختلاف مربع السرعة. ولتحسين أبعاد بركة الانغمار، يكون من المطلوب إجراء حسابات تجريبية عديدة لحساب ارتفاع الدلو لقفزة الزلاجة. وفي هذه الحالة، تم حساب أن نهاية سناد قفزة الزلاجة تقع على بعد ٩٠ م أسفل منسوب سطح ماء خزان التصميم أو على منسوب ٩١٠ م.

وفي حالة $Z = 90\,m$ ، $H = 6.1\,m$ ومن الجدول رقم (٣,١٣) نجد أن:

$$V \cong 34\,m/s$$

وحيث

$$y = 33/34 = 0.97\ m$$

$$R \cong 4 \times 0.97 \cong 4\ m$$

ليس هناك خطوط إرشادية محددة لتقدير طول وعمق الدلو. ولكن يمكن تقديرهم بمجرد حساب نصف قطر الدلو وزاوية الطرف، على سبيل المثال:

طول قوس الدلو = $2R\ \theta^{\circ}\pi/180$

وعمق الدلو = $R - R\cos\theta$

ولإجراء التقديرات الأولية، يمكن أخذ الطول، L، فيما وراء نقطة الدلو المنخفضة على أنها حوالي ٠,٢٥ إلى ٠,٦٠ مرة من نصف القطر. وفي هذه الحالة، استخدم L = ٢ م، وعمق الدلو بين نهايته والنقطة المنخفضة = ٠,٨٠ م.

وقم بعمل سناد أفقي بعرض ٠,٦١ م عند مهبط حافة الدلو (الشكل رقم ٥,٧). ويجب تدقيق هذه الأبعاد الأولية اعتماداً على اختبارات النموذج الهيدروليكي أو معلومات اختبار الأنواع الشبيهة من الدلو المقلوب. وباستخدام المعادلات رقم (٥,٨٤أ) ورقم (٥,٨٤ب) نجد طول مسار النفث الأفقي:

$$X = \left(34^2 \times \sin 50^{\circ}\right)/9.81 = 90\ m$$

وارتفاع النفث:

$$\left(34 \times \sin 25^{\circ}\right)^2/\left(2 \times 9.81\right) = 10.5\ m$$

أي يرتفع ١٠,٥ م فوق نهاية السناد أو حتى منسوب ٩٢٠,٥ م.

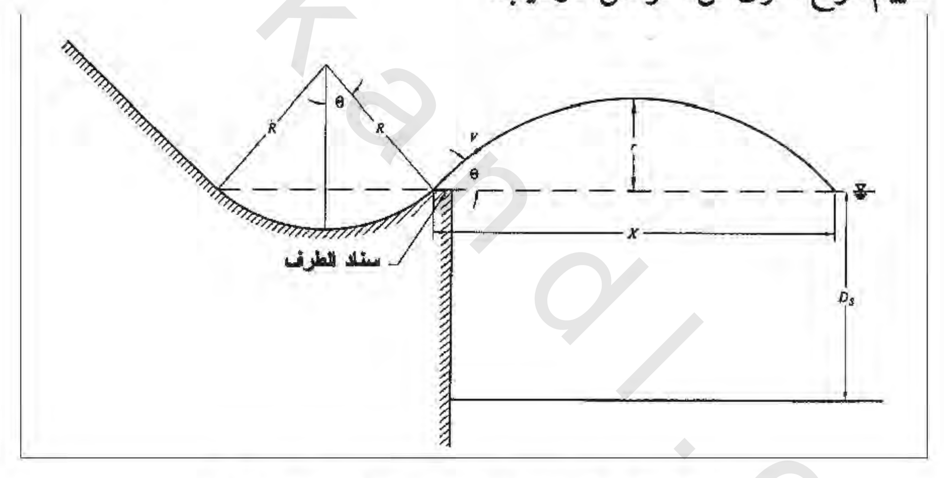
الطاقة الحركية التي يضرب بها النفث قاع النهر نظير السقوط من قمة مسار النفث إلى منسوب الماء المتصرف (الخلفي) والذي منسوبه ٩٠٥ م تساوي

$$H = 920.5 - 905 = 15.5\ m$$

وباستخدام المعادلة رقم (٥,٨٥) فإن

$$D_s = 1.897 \times 15.5^{0.225} \times 33^{0.54} = 23.2\ \text{m}$$

قم بعمل بركة انغمار بطول ٩٥ م عند ارتفاع حوالي ٢٤ م أسفل منسوب ماء التصميم المتصرف أو عند منسوب ٨٨١ م. ويجب التحقق من قاعدة أرضية بركة الانغمار حتى تكون أمنة ضد الضغوط المحمولة. وبناءً على ظروف الموقع، فإن طول الانغمار يمكن أن يقلل عن طريق اختيار ارتفاعاً أعلى من الدلو لقفزة الزلاجة. وبالتبادل، يمكن تقييم أنواع أخرى من أحواض الترسيب.



الشكل رقم (٥,٧). الرسم التخطيطي للدلو ذو القفزة الزلاجة.

القدرة الكهرومائية Hydroelectric Power

محطة القدرة Power Plant

لمحطة القدرة المائية مكونات عديدة:

١- قناة قدرة أو أنبوبة أو نفق، تنقل الماء من المصدر (مثل، خزان أو مدخل نهر) إلى الخزان الأمامي أو البرابخ بالجوار القريب من محطة القدرة.

٢- الخزان الأمامي: قناة قصيرة مفتوحة لها سعة تخزينية صغيرة نسبياً لتمتص تقلبات التدفقات قصيرة المدى (مثل، في الساعة أو النهار). وهي تتصل بقناة الطاقة أو المدخل، الذي يتحكم في دخول الماء إلى البرابخ أو المحركات. واعتماداً على ظروف الموقع، وقد يكون أو لا يكون الخزان الأمامي ضرورياً.

٣- بنية المدخل: يتحكم في تدفق الماء من الخزان الأمامي إلى البرابخ أو المحركات. ويتم عمل شبكة لحجز النفايات مباشرة عند مصعد بنية المدخل لتتحكم في عدم دخول كتل الحجارة والأسماك إلى المحرك.

٤- البرابخ: في حالة المباني الكهرومائية متوسطة أو عالية الضاغط، فإن الماء من الخزان الأمامي أو نفق الطاقة (إذا لم يتم عمل الخزان الأمامي) ينقل إلى مدخل المحرك خلال أنابيب الضغط، وتُصنع عادةً من الفولاذ. سمية أنابيب الضغط هذه بالبرابخ. وهي توضع على مناطق شديدة الانحدار بدون انحناءات حادة لتقليل الفواقد. ويجب أن يكون مدخل البرابخ منغمساً في الماء بما فيه الكفاية لمنع دخول الهواء. وفي حالة الأنفاق الطويلة، يتم عمل صهريج تمّور بالقرب من محطة الطاقة بين وصلة النفق والبرابخ، لحماية النفق والبرابخ من ضغوط طرق الماء في حالة التوقف المفاجئ للتدفق خلال المحركات. وفي بعض المنشئات منخفضة الضاغط، حيث يمكن إمداد الماء إلى المحركات خلال القنوات المفتوحة، فإنه يمكن ألا تكون البرابخ ضرورية.

٥- الصندوق الحلزوني: يتم نقل الماء من نهاية البرابخ إلى المحرك خلال صندوق حلزوني، لولبي السطح. والغرض الرئيس من الصندوق الحلزوني هو الحفاظ على سرعة منتظمة تقريباً عند مدخل ريش التوجيه (أو البوابة) عند مدخل المحرك.

٦- بوابة صغيرة: يدخل الماء إلى المحرك خلال بوابة صغيرة.

٧- مولد- المحرك: يوجد العديد من أنواع المحركات متاحة من كثير من الجهات المصّنعة ومناسبة لظروف المواقع المختلفة، وهي آلات تستخدم لتحويل طاقة وضع وطاقة حركة الماء إلى شغل مفيد. ويقوم المولد بتحويل هذه الطاقة إلى طاقة كهربية.

٨- أنبوب السحب: يتم تصريف الماء من المحركات في اتجاه التيار خلال أنبوب السحب. ولأنبوب السحب مساحة قطاع عرضي متزايدة بانتظام وبهذا تقل سرعة الخروج إلى قناة مهبط النهر بشكل كبير. وعادةً يتم عمل تصميم أنبوب السحب من قبل المصّنعين.

٩- المسرب السفلي: وهي القناة التي يدخل إليها الماء من أنبوب السحب. وهي تنقل الماء المتصرف من محطة الطاقة إلى القناة الطبيعية على جانب مهبط النهر.

ويتم تصنيف محطات القدرة الكهرومائية تبعاً للسعة المركبة، كما يلي:

١- التقليدي: تكون السعة المركبة أكبر من ١٥ ميجاوات.

٢- المقياس الصغير: تكون السعة المركبة بين ١ و ١٥ ميجاوات.

٣- المصّغر: تكون السعة المركبة بين ١٠٠ كيلووات و ١ ميجاوات.

٤- الدقيق: تكون السعة المركبة أقل من ١٠٠ كيلووات.

وتشمل الإنشاءات الهيدروليكية المتعلقة بالمبنى الكهرومائي، بناء المدخل، وقناة الطاقة، والنفق، والبرابخ، وصهريج تمّور، وأنبوب سحب، وقناة مسرب سفلي. والخطوط الإرشادية لتصميم هذه الإنشاءات متاحة في منشورات عديدة (مثل ASCE 1989; Monsonyi 1963; USACE 1985; Davis and Sorensen 1970; Zipparo and Hansen 1993; Creager and Justin 1950).

يتم تقدير السعة المركبة أو جهد توليد القدرة المائية لموقع محدد عن طريق المعادلة:

$$P = 9.80\,Q\,H\,\eta \qquad (٥,٨٦)$$

حيث إن:

P = القدرة بالكيلووات.

Q = التدفق (م^3/ ث).

H = صافي الضاغط المتاح (م).

η = كفاءة المولد- المحرك، عادة في مدى من ٨٠٪ إلى ٩٠٪.

يتم تقدير القيم التصميمية لكل من Q و H من جداول مدة التدفق وضاغط- التصرف أو من منحنيات مصدر إمداد المياه. ولتعظيم استخدام المياه المتاحة، يمكن اختيار قيمة Q التي تتجاوز من ١٠٪ إلى ٣٠٪ من المرات لتقدير السعة المركبة للمبنى. ويمكن اختبار قيم Q العديدة وقيم H المناظرة لتقدير القيم التي تؤدى إلى السعة المركبة المثلى لاستخدام المياه والاعتبارات الاقتصادية. وفي حالة التخطيط الأولي، يمكن اعتبار أن السعة المركبة تلك التي يكون عندها الزيادة الكبيرة نسبياً في قيمة Q تؤدي للحصول على زيادة صغيرة نسبياً في قيمة P .

لتقدير جهد توليد القدرة المائية السنوي لمبنى، يجب إجراء دراسة لعملية تشغيل الخزان ومحطة الطاقة باستخدام نماذج مثل HEC-3 (USACE 1981) و HEC-5 (USACE 1982) مع متتاليات التدفقات المتاحة والضغوط المناظرة للفترات الزمنية الطويلة نسبياً (١٠ إلى ٥٠ سنة أو أكثر). وفي حالة التقديرات الأولية، يمكن استخدام جداول مدة التدفق وضاغط التصرف. وفي هذه التقديرات، يجب استخدام المياه الكلية التي تعتمد على كفاءة الموصل، والتي تتراوح من حوالي ٧٠٪ إلى ٨٦٪ وتشمل كفاءات المحرك، والمولد، والمحولات، والمعدات الأخرى. وبالإضافة لذلك، يمكن

عمل بعض الزيادة للكفاءة كأمان لأجل تقلبات الماء المتصرف وزمن الانخفاض غير المتوقع.

مثال رقم (٥,٢٠): متوسط علاقة مدة التدفق السنوي وتصرف الضاغط لمحطة طاقة مجرى النهر موضحة في الجدول رقم (٥,٢٤). استنتج السعة المركبة وجهد توليد الطاقة السنوي للمبنى.

الحل:

يمكن أن يُنصح بتركيب معدات لتعمل عند تدفقات أكبر من ٤٠٥ م³/ ث لأن التدفقات الزائدة على هذا تكون متاحة فقط في حوالي ١١٪ من الأوقات. وسوف تتغير كفاءة الوحدات مع التصرف والضاغط طبقاً للخصائص التي يقدمها المصّنع. وفي هذا المثال، افترض كفاءة كلية ثابتة كلية ٨٦٪. ويفترض أن يكون للوحدات معامل آمان لزيادة الحمل قدره ١,١٥ . إذن يمكن أن يكون التوليد حتى حوالي ١,١٥ مرة من السعة المركبة المعايرة.

من الجدول رقم (٥,٢٥) الذي يبين التصرف-الضاغط، وفي حالة أقصى تشغيل عند تصرف ٤٠٥ م³/ ث يكون الضاغط يساوي ٣١,٥٣ م.

من المعادلة رقم (٥,٨٦)، السعة المركبة:

$$9.80 \times 405 \times 31.53 \times 0.86 = 108{,}000 \text{ KW}$$

استخدم أربعة وحدات قدرة كل منها ٣٠ ميجاوات، ليكون لها المقدرة على توليد حتى ١٢٠ ميجاوات بدون حمل زائد و ١٣٨ ميجاوات مع معامل حمل زائد قدره ١,١٥ . والمواصفات التي يقدمها المصّنع يتم استخدامها لحساب أدنى تصرف فعال لتشغيل وحدة توليد المحرك. وفي هذا المثال، من المفترض أنه لا يكون فعال تشغيل أي واحدة من وحدات المولد- المحرك عندما تكون التدفقات أقل من حوالي ١١٦ م³/ ث. والضاغط المناظر يكون ١٦,٣ م. وتكون الطاقة المتولدة حوالي:

$$9.80 \times 116 \times 16.3 \times 0.86 / 1,000 = 15.9\ \text{MW}$$

الجدول رقم (٥,٢٤). جدول مدة التدفق وضاغط التصرف.

التصرف Q (م³/ ث)	التجاوز (٪)	الضاغط H (م)
٠	١٠٠	٠
٥	٩٩,٩٩	٣,٥٠
٢٨	٩٠	٩,٧٤
٥٧	٧٠	١١,٠٦
٨٦	٥٤	١٥,٧٤
١١٥	٤١	١٦,١٧
١٤٤	٣٣,٥	١٩,٩٢
١٧٣	٢٩	٢٠,١٣
٢٠٢	٢٥	٢٣,٣٢
٢٣١	٢٢	٢٣,٤٧
٢٦٠	١٩,٥	٢٦,٢٥
٢٨٩	١٧,٥	٢٦,٤٢
٣١٨	١٥,٥	٢٨,٨٧
٣٤٧	١٣,٥	٢٩,٠٨
٣٧٦	١٢	٣١,٢٨
٤٠٥	١١	٣١,٥٣
٤٣٤	١٠,٥	٣٣,٥٠
٤٦٣	١٠	٣٣,٨١
٤٩٢	٩,٥	٣٥,٥٩
٥٢١	٩	٣٥,٩٢
٥٢٢	٠	٣٦,٢٩

obeikandl.com

أو ٥٣٪ من السعة المركبة لوحدة مفردة. ومن المفترض أن الحمل يمكن أن يكون متساوي التوزيع على الآلات وبهذا يتم الحفاظ على أدنى كفاءة معقولة في كل وحدة تشغيل. وسوف تعمل واحدة واثنان وثلاثة وأربعة من الوحدات بناءً على التصرف والضاغط المتاح عند أي زمن محدد.

باستخدام التمثيل البياني لجدول مدة التدفق (Q على المحور-y وتجاوز النسبة المئوية على المحور-x)، قسّم التدفقات إلى فترات زمنية عديدة ملائمة للتدفق، وعن طريق الاستكمال الخطي، استنتج متوسط كل فترة زمنية للتدفق. وعلى سبيل المثال، الفترة الزمنية للتدفق الذي يقدر من ٢٩ إلى ٥٧ م³/ ث يحدث في (٩٠ - ٧٠) = ٢٠٪ من المرات.

يمكن تقدير متوسط جهد توليد الطاقة السنوي E (كيلووات) باستخدام المعادلة:

$$E = 8760 \times 9.8 \times \sum (Q_i\ p_i\ H_i\ \eta_i)/100 \qquad (٥,٨٧)$$

حيث إن:

i = عدد الفترات الزمنية للتدفق.

Q_i = متوسط التصرف في الفترة الزمنية i.

H_i = الضاغط المناظر لقيمة Q_i.

η_i = الكفاءة الكلية المناظرة لكل من Q_i و H_i.

p_i = النسبة المئوية للأزمنة التي تغطّى بالفترة الزمنية للتدفق.

$\sum$ = تجميع كل الفترات الزمنية للتدفق.

الفترات الزمنية للتدفق المختارة، والنسبة المئوية للأزمنة التي تغطيها كل فترة زمنية للتدفق، ومتوسط التدفق خلال الفترة الزمنية، والضاغط المناظر للتدفق المتوسط موضحة في الجدول رقم (٥,٢٥).

ويكون جهد توليد الطاقة السنوي للمبنى ٢٣٢٢٤٦ ميجاوات في الساعة بدون معامل زيادة حمل و ٢٤٨٣٣٧ ميجاوات في الساعة مع معامل زيادة الحمل.

المداخل Intakes

يتم استخدام أنواع متعددة من تصاميم المداخل في مرافق الطاقة الكهرومائية (ASCE 1989). الأنواع شائعة الاستخدام من المداخل تشمل الآتي:

١- بئر رأسي جاف يحتوى على استعدادات رفع لتتحكم في فتحات الصمام في المنفذ الأفقي الذي يقع عند قاع نافورة المياه الذي ينقل المياه من الخزان أو النهر إلى نقطة التسليم.

٢- مدخل أنبوبة أفقية صلبة مع بوابة أو صمام عند مدخلها.

٣- أنبوبة مائلة مدعمة على امتداد سطح السد مع وجود فتحات على ارتفاعات مختلفة ومتصلة بالأنبوبة الأفقية تقريباً التي تمتد خلال هيكل السد.

٤- بئر تهوية رأسي مع سدادة سرعة عند المصطبة لمنع تدفق الماء رأسياً إلى المدخل ومتصل بأنبوبة أفقية تقريباً تمتد خلال هيكل السد.

٥- بئر تهوية رأسي حيث يدخل إليه الماء من قمته وأيضاً من الجوانب خلال فتحات المنفذ التي تقع على ارتفاعات مختلفة ويقع صمام التحكم عند أنبوبة المخرج المتصلة بنافورة المياه الرأسي. وتمتد أنبوبة المخرج خلال هيكل السد. وهذا النوع من المداخل يسمى بمدخل البئر المبلل لأن البئر الرأسي يحتوي دائماً على الماء.

الجدول رقم (٥,٢٥). حسابات توليد الطاقة السنوي.

الفترة الزمنية للتدفق		النسبة الزمنية للزمن المعطى بالفترة الزمنية للتدفق	متوسط التدفق في الفترة الزمنية (م³/ث)	الضاغط المناظر للتدفق المتوسط (م)	الطاقة (ميجاوات)	
Q_1 (م³/ث)	Q_2 (م³/ث)				باستخدام السعة المركبة الفعلية	مع معامل زيادة حمل قدره ١,١٥
٠	٢٨	١٠	١٤	٥,٩٤	٠	٠
٢٩	٥٧	٢٠	٤٣	١٠,٤٢	٠	٠
٥٨	٨٦	١٦	٧٢	١٣,٤٨	٠	٠
٨٧	١١٥	١٣	١٠١	١٥,٩٦	٠	٠
١١٦	١٤٤	٧,٥	١٣٠	١٨,١١	١٣٠٣٦	١٣٠٣٦
١٤٥	١٧٣	٤,٥	١٥٩	٢٠,٠٣	١٠٥٨١	١٠٥٨١
١٧٤	٢٠٢	٤	١٨٨	٢١,٧٨	١٢٠٩٢	١٢٠٩٢
٢٠٣	٢٣١	٣	٢١٧	٢٣,٤	١١٢٤٧	١١٢٤٧
٢٣٢	٢٦٠	٢,٥	٢٤٦	٢٤,٩١	١١٣١٠	١١٣١٠
٢٦١	٢٨٩	٢	٢٧٥	٢٦,٣٤	١٠٦٩٦	١٠٦٩٦
٢٩٠	٣١٨	٢	٣٠٤	٢٧,٦٩	١٢٤٢٩	١٢٤٢٩
٣١٩	٣٤٧	٢	٣٣٣	٢٨,٩٨	١٤٢٥٠	١٤٢٥٠
٣٤٨	٣٧٦	١,٥	٣٦٢	٣٠,٢٢	١٢١١٥	١٢١١٥
٣٧٧	٤٠٥	١	٣٩١	٣١,٤١	٩٠٦٧	٩٠٦٧
٤٠٦	٤٣٤	٠,٥	٤٢٠	٣٢,٥٥	٥٠٤٧	٥٠٤٧
٤٣٥	٤٦٣	٠,٥	٤٤٩	٣٣,٦٦	٥٢٥٦[a]	٥٥٧٩
٤٦٤	٤٩٢	٠,٥	٤٧٨	٣٤,٧٣	٥٢٥٦[a]	٦٠٤٤[a]
٤٩٣	٥٢١	٠,٥	٥٠٧	٣٥,٧٦	٥٢٥٦[a]	٦٠٤٤[a]
٥٢٢		٩	٥٢٢	٣٦,٢٩	٩٤٦٠٨	١٠٨٧٩٩[a]
المجموع		١٠٠			٢٣٢٢٤٦	٢٤٨٣٣٧

a: سوف تكون الآلات قادرة على إنتاج ١٢٠ ميجاوات بدون معامل زيادة حمل و ١٣٨ ميجاوات مع معامل زيادة حمل مقداره ١,١٥ أثناء هذه الفترات.

Obeikandl.com

وتعتمد التصاميم الهيدروليكية للمداخل على معادلات التدفق الموصوفة في الفصل الثالث. ومن المهم تجنب تكون الدوامات عند بوابات مداخل الطاقة. وإن الانغمار الأدنى المطلوب لتجنب تكون الدوامات عند فتحة بوابات الجرس الأفقية للمداخل تعطى بالمعادلة:

$$S = c\,V\,d^{0.5} \qquad (٥,٨٨)$$

حيث إن:

S = أدنى انغمار مطلوب فوق الحافة العلوية من فتحة الجرس (م).

V = السرعة خلال بوابة المدخل (م/ ث).

d = قطر أنبوبة المدخل (م).

c = ٠,٥٤ في الظروف المتماثلة، و ٠,٧٢ في حالة ظروف التدفق المغترب الجانبي.

وفي حالة المداخل الأفقية مع منفذ فتحة جرس:

$$S > 62\,V^2 \qquad (٥,٨٩)$$

حيث إن:

S = أدنى انغمار مطلوب فوق خط المنتصف من فتحة الجرس (م).

V = سرعة المدخل عند فتحة الجرس.

المعايير البديلة للانغمار عند مثل هذه المداخل الأفقية هي:

$$S/d \le 0.7 \quad ، \quad F = V/\sqrt{(gd)} \le 0.5 \qquad (٥,٩٠)$$

وفي حالة المداخل الرأسية:

$$2.14\,F^{0.04} \le S/d \le F^{0.12} \qquad (٥,٩١)$$

الفاقد في الضاغط خلال المدخل، والمخرج، والانحناءات، وقناة المدخل يمكن تقديرها باستخدام الطرق الموصوفة في الفصل الثالث. والفاقد في الضاغط خلال

openkandil.com

شبكة النفايات المركبة عند بوابة المدخل يمكن تقديره عن طريق المعادلة التالية (Davis and Sorensen 1970; Zipparo and Hansen 1993; Chow 1959; ASCE 1989):

$$h_L = k_T (t/b)^{4/3} (V^2/2g) \sin \alpha \qquad (٥,٩٢)$$

حيث إن:

h_L = الفاقد في الضاغط خلال شبكة النفايات.

k_T = معامل قيمته ٢,٤٢ وهو خاص بقضبان شبكة النفايات التي فتحات مربعة وقيمته ١,٧٩ للقضبان الدائرية.

t = سمك القضبان (سم).

b = المسافة الفاصلة بين القضبان (سم).

α = زاوية ميل القضيب على الأفقي.

V = سرعة الاقتراب أمام شبكة النفايات.

وطريقة بديلة لتقدير الفاقد في الضاغط خلال شبكة النفايات هي استخدام معامل الفاقد في الضاغط المعطى بالمعادلة التالية (USBR 1987):

$$k_T = 1.45 - 0.45\, a_n / a_g - (a_n / a_g)^2 \qquad (٥,٩٣)$$

إذن:

$$h_L = k_T (V_n^2 / 2g) \qquad (٥,٩٤)$$

حيث إن:

V_n = السرعة خلال المساحة المفتوحة من شبكة النفايات.

a_n = صافي المساحة المفتوحة خلال شبكة النفايات.

a_g = المساحة الإجمالية لشبكة النفايات والدعامات.

openelkandil.com

في الحالات العملية، يجب تقـدير الفاقـد في الـضاغط خـلال شـبكة النفايـات بفرض انسداد ٥٠ ٪ منها.

ويمكن تقدير الفاقد الناتج عن ضيق الأنبوب أثناء التدفق عن طريـق المعادلـة التالية (ASCE 1989):

$$h_L = k_c \left(V_2^2 / 2g \right) \qquad (٥,٩٥)$$

حيث إن:

V_2 = السرعة في مقطع الأنبوب الأصغر.

وقيم k_c النموذجية لنسب الضيق المختلفة معطاة في الجدول رقم (٥,٢٦).

قيم معامل الفاقد k_b النموذجية في حالة انحناء بزاوية ٩٠ درجة مع نصف القطر R في أنبوبة قطرها d موضحة في الجدول رقم (٥,٢٧) (USBR 1987).

الجدول رقم (٥,٢٦). القيم النموذجية لمعامل الضيق في الأنابيب.

A_2/A_1	K_c
٠,١	٠,٣٦٣
٠,٢	٠,٣٣٩
٠,٤	٠,٢٦٨
٠,٦	٠,١٦٤
٠,٨	٠,٠٥٣
١,٠	١

A_2 = مساحة المقطع العرضي لمقطع الأنبوب الأصغر.

A_1 = مساحة المقطع العرضي لمقطع الأنبوب الأكبر.

المصدر: ASCE (1989).

openkanat.com

الجدول رقم (٥,٢٧). القيم النموذجية لمعامل فاقد الانحناء في الأنابيب (انحناء ٩٠ درجة).

R/d	K_b
٠,٨	٠,٣
١,٠	٠,٢٣
١,٥	٠,١٨
٢,٠	٠,١٣
٣,٠	٠,١٠
≥ ٤,٠	٠,٠٨

المصدر: USBR (1987).

مثال رقم (٥,٢١): مستويات الماء في الخزان تتغير بين ٣٠٠ و ٣١٠ م. وارتفاع التخزين الساكن يساوي ٢٩٥ م. يراد إمداد المياه إلى نقطة تبعد ٢٠٠ م من السد على منسوب ٢٨٩,٧٠ م. تصرف إمداد الماء المطلوب من الخزان هو ٢,٨٥ م^3/ ث. احسب أبعاد أنبوبة المدخل المطلوبة لهذه الحالة. واستخدم متوسط معامل احتكاك ٠,١٠.

الحل:

يمكن أن يكون المدخل أنبوبة مائلة موضوعة على امتداد ميل السد أو برج رأسي يقع قريباً من السد. وفي هذه الحالة، يتم قبول البرج الرأسي. ولمنع الأسماك من أن تصبح عالقة في بئر تهوية المدخل، سيتم عمل مصفاة أسطوانية رأسية عند المدخل لحجز الأسماك، وسرعة الاقتراب في اتجاه المصفاة سوف تكون محدودة إلى ٠,١٥م/ ث. وسيتم عمل سدادة سرعة عند قمة المصفاة وبهذا يدخل الماء فقط من خلال ارتفاع المصفاة. ويمكن أن تحتل قضبان المصفاة تقريباً ٢٠٪ من المساحة

الإجمالية للمصفاة. ومع هذا، لأغراض التصميم، افترض أن انسداد مساحة المصفاة بسبب قضبان المصفاة، والأنقاض، والمخلفات يساوي ٥٠٪، إذن:

$$A_n = (1 - 0.20) A_g = 0.80 A_g$$

و

$$A_n \text{ (غير مسدود)} = 0.50 A_n = 0.40 A_g$$

ولتمرير تصرف التصميم:

$$0.15 \times (1 - 0.20) \pi D_s H_s \times 0.50 \geq 2.85$$

أو

$$D_s H_s \geq 15.10 \, m^2$$

حيث إن:

D_s = قطر إطار المصفاة الأسطواني الشكل (م).

H_s = ارتفاع المصفاة (م).

بفرض أن D_s = ٣,٧ م ، H_s = ٤,١ م. وبفرض بوابة مربعة الأركان لقمة مستديرة من أنبوبة المدخل على ارتفاع ٢٩٦ م، و D = ٣,٧ م، والتي يقل القطر تدريجياً إلى قطر الأنبوبة، d. ويجب أن يمر بالمدخل تصرف ٢,٨٥ م³/ ث مع أكثر انخفاض لارتفاع الخزان يساوي ٣٠٠ م. إذن:

$$300 - 289.7 = \left[\left(k_T + k_e + k_b + f \; L/d + 1 \right) \; V^2 / 2g + k_c \left\{ \left(V^2 / 2g \right) - \left(V_b^2 / 2g \right) \right\} \right]$$

حيث إن:

k_T = معامل فقد شبكة النفايات من المعادلة رقم (٥,٩٣):

$$k_T = 1.45 - 0.45 \times 0.40 - 0.16 = 1.11$$

k_e = معامل فاقد المدخل = ٠,٧٠.

k_b = معامل فاقد الانحناء للكوع حيث تصبح الأنبوبة الرأسية أفقية تقريباً مع نصف قطر انحناء يساوي ضعف قطر الأنبوبة أو أكثر = ٠,١٣.

k_c = معامل فاقد الضيق من قطر فتحة الجرس إلى قطر الأنبوبة = ٠,٢٥ (USBR 1987).

V_b = السرعة خلال بوابة المدخل الدائرية:

$$V_b \cong 2.85/\left(\pi \times 3.7^2/4\right) = 0.27 \text{ m/s}$$

وبالتالي:

$$10.3 = \left[1.11 + 0.7 + 0.13 + (0.01 \times 200/d) + 1\right] V^2/2g + 0.25$$

$$\left[V^2/2g - 0.27^2/2g\right] = \left[2.94 + 2/d\right] V^2/2g + 0.25\ V^2/2g - 0.0009$$

وبفرض تجربة d تساوي ١,٠ م، وبهذا تكون السرعة

$$V = 2.85/\left(\pi \times 1.0^2/4\right) = 3.63 \text{ m/s}$$

إذا:

$$h_L = (3.19 + 2.0)\ \left[3.63^2/\ (2 \times 9.81)\right] - 0.0009 = 3.485 \text{ m}$$

وبالمثل، نجرب d = ٠,٨ م، إذن: $V = 5.67$ m/s ، و $h_L = 9.32$ m

وفي حالة d = ٠,٧٨٢٢ م، تكون $V = 5.931$ m/s ، و $h_L = 10.3$ m

وهو تقريباً يساوي الضاغط المتاح. وسوف يتم استخدم أنبوبة قطرها d = ٠,٨ م لتسمح ببعض التغيير في معاملات الفاقد المفترضة.

في حالة ارتفاعات خزان أعلى من ٣٠٠ م، سوف يتم التحكم في التدفق خلال أنبوبة المدخل عن طريق صمام يقع عند برج المدخل.

خزان النبط Surge Tank

خزان النبط هو خزان يقع عند نهاية مصب نفق الطاقة ونهاية منبع البرابخ. ووظيفة خزان النبط هي إضعاف زيادات الضغط في النفق والبرابخ الناتج عن مقاومة الحمل الفجائي خلال المحرك والتقليل المتعاقب للتدفق أو التوقف التام للتدفق خلال المحركات. ويمكن أن يكون خزان النبط بسيط وعبارة عن بئر تهوية رأسي متصل بالنفق. وأدنى مساحة لخزان النبط يمكن تقديرها عن طريق المعادلة التالية (Davis and Sorensen 1970; Zipparo and Hansen 1993):

$$A_s = A\,L/\left(2\,g\,c\,H\right) \qquad (٥,٩٦)$$

حيث إن:

A_s = أدنى مساحة مطلوبة لخزان النبط.

A = مساحة النفق.

H = الفرق بين منسوب سطح ماء الخزان الطبيعي وخط المنتصف في النفق.

L = طول النفق من الخزان إلى خزان النبط.

c = معامل فاقد الضاغط للنفق حيث إن الاحتكاك والفواقد الأخرى تساوي $c\,V^2$، حيث

$$c \cong \left[f\,L/\left(2\,g\,d\right) + \{\text{معاملات المفقودات الثانوية}\}/\left(2\,g\right)\right]$$

d = قطر النفق.

f = معامل احتكاك دارسي-وايزباك (الشكل رقم ٥,٨).

عند التطبيق العملي يجب أن يكون قطر خزان النبط البسيط المقدّر عن طريق المعادلة رقم (٥,٩٦) أكبر بمقدار يساوي ٥٠٪ أو أكثر. وما لم يكن التدفق الزائد من صهريج التمّر مقبولاً، يجب أن يكون ارتفاعه أعلى من ارتفاع التخزين الأقصى المتوقع

فوق مستوى الماء في الحالة المستقرة الناتج عن التوقف المفاجىء للتدفق خلال المحرك.

ويتم تقدير ارتفاع التخزين باستخدام معادلة الاستمرارية ومعادلة إيوليراين:

$$dz/dt = \left(A/A_s\right) V \quad (٥,٩٧)$$

$$\left(L/g\right) dV/dt = -\left(z - c V^2\right) \quad (٥,٩٨)$$

حيث إن:

z = التغير في مستوى الماء في خزان النبط من مستوى الماء في الخزان، المقدار الموجب في الاتجاه العلوي.

وهذه المعادلات يمكن حلها باستخدام الزيادات النهائية، مع قيمة بداية (عند $t = 0$) لقيمة $z = c V^2$ ، حيث إن V = السرعة في الحالة المستقرة في النفق:

$$\Delta z = \left(A/A_s\right) V \Delta t \quad (٥,٩٩)$$

$$\Delta V = -\left(g/L\right) \left(z - c V^2\right) \Delta t \quad (٥,١٠٠)$$

ولعمل التقديرات الأولية لخزان النبط البسيط، فإنه يمكن إهمال قيمة $c V^2$ (ASCE 1989)، إذن:

$$z = \left(Q_0/A_s\right) \left[\sqrt{\left\{A_s L/\left(A g\right)\right\}}\right] \sin\left[\sqrt{\left\{A g/\left(A_s L\right)\right\}}\, t\right] \quad (٥,١٠١)$$

$$z_{max} \cong \left(Q_0/A_s\right) \sqrt{\left\{A_s L/\left(A g\right)\right\}} \quad (٥,١٠٢)$$

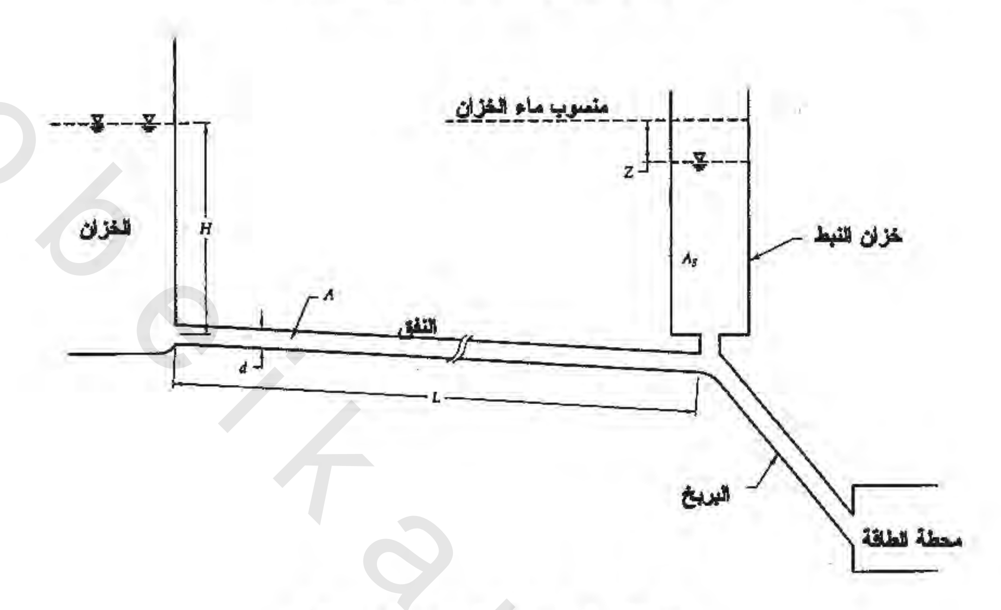
$$T = 2\pi \sqrt{\left\{A_s L/\left(A g\right)\right\}} \quad (٥,١٠٣)$$

حيث إن:

z_{max} = أقصى ارتفاع لسطح الماء فوق مستوى الحالة المستقرة في خزان النبط.

T = الفترة الزمنية لتقلبات مستوى الماء.

obeikandl.com



الشكل رقم (٥,٨). خزان النبط البسيط.

مثال رقم (٥,٢٢): احسب الأبعاد الأولية لصهريج تخزين أسطواني بسيط مع قطاع عرضي دائري لمحطة طاقة يتم إمدادها بالماء من الخزان من خلال نفق طوله ١٠٠٠ وقطره ١,٧٥ م مبطن بالخرسانة. التصرف خلال النفق في الحالة المستقرة ٦ م٣/ ث. متوسط الضاغط فوق خط منتصف القناة من الخزان إلى خزان النبط يساوي ٣٠م. افترض أن حالة التصميم هي الإغلاق المفاجئ للصمام عند البربخ.

الحل:

في حالة النفق المبطن بالخرسانة، افترض أن $f = 0.015$:

$$V = 6/\left(\pi \times 1.75^2 / 4\right) = 2.4945 \text{ m/s}$$

$$c \cong f\,L/\left(2\,g\,d\right) = 0.015 \times 1000/\left(2 \times 9.81 \times 1.75\right) = 0.437$$

القيمة الأولية أو قيمة الحالة المستقرة للمقدار z :

$$z = c\,V^2 = 0.437 \times 2.4945^2 = 2.72 \text{ m}$$

مساحة القطاع العرضي للنفق:

$$A = \pi \times 1.75^2 / 4 = 2.405\, m^2$$

باستخدام المعادلة رقم (٥,٩٦)، أدنى مساحة لخزان النبط:

$$A_s = 2.405 \times 1000 / (2 \times 9.81 \times 0.437 \times 30) = 9.35\, m^2$$

وأدنى قطر مطلوب لخزان النبط =

$$\sqrt{(4 \times 9.35 / \pi)} = 3.45\, m$$

من الملاحظات العملية، استخدم d تساوي ٥,٥ م، إذا

$$A_s = \pi \times 5.5^2 / 4 = 23.758\, m^2$$

$$A / A_s = (1.75 / 5.5)^2 = 0.1012$$

وبإهمال فاقد الاحتكاك وباستخدام المعادلة رقم (٥,١٠٢):

$$z_{max} \cong (6/23.578)\sqrt{\{(5.5/1.75)^2 \times 1000 / (9.81)\}} = 8.1\, m$$

وعند أخذ فاقد الاحتكاك في الاعتبار، يتم تقدير أقصى صهريج تخزين باستخدام المعادلات رقم (٥,٩٩) ورقم (٥,١٠٠) في الحل على ورقة عمل في برنامج الاكسل (Rouse 1950). والحسابات موضحة في الجدول رقم (٥,٢٨). خطوات الحسابات هي:

١- احسب الزمن، t، الذي يتم عنده عمل الحسابات (العمود رقم ١).

٢- احسب فترة حسابات الزمن، Δt (الفرق في قيمتين متتابعتين للزمن t في العمود رقم ١).

٣- ضع قيمة مبدئية للقيم المحسوبة مسبقاً لكل من V و c و cV^2 في الأعمدة رقم (٣ و ٥ و ٦) واحسب القيم المبدئية في الأعمدة الأخرى. لاحظ أن قيمة z المبدئية سالبة لأن مستوى الماء في الحالة المستقرة في خزان النبط يكون أقل من مستوى الماء في الخزان بسبب الفواقد في النفق.

obeikandl.com

٤- احسب Δz (العمود رقم ٤) باستخدام المعادلة رقم (٥,٩٩).

٥- احسب z في العمود رقم (٥) (بإضافة Δz إلى z المحسوبة في حساب فترة الزمن السابقة).

٦- احسب $c\,V^2$ باستخدام قيمة V من فترة الزمن السابقة، وتأكد أن إشارة هذه القيمة في العمود رقم (٦) تكون عكس إشارة قيمة السرعة في فترة الزمن السابقة في العمود رقم (٣)، أي:

$$c\,V^2 = -c\,\text{abs}\cdot(V)\cdot V$$

حيث إن: abs تمثل القيمة المطلقة.

V تشير إلى خطوة فترة السابقة.

٧- احسب قيمة $z - c\,V^2$ وأدخل النتيجة في العمود رقم (٧).

٨- احسب ΔV باستخدام المعادلة رقم (٥,١٠٠) وأدخل النتيجة في العمود رقم (٨).

٩- احسب V (فترة زمن جديدة) = V (فترة زمن سابقة) + ΔV وأدخل النتيجة في العمود رقم (٣) لفترة الزمن الحالية.

إن أقصى ارتفاع مقدّر للتخزين فوق مستوى الماء في الخزان هو ٦,٢١ م عند زمن ٥٥ ث، وأدنى ارتفاع أسفل مستوى الخزان هو ٤,٣٦ م عند زمن ١٥٩ ث. إن تأثير الاحتكاك في النفق يقلل أقصى ارتفاع التخزين z_{max} من ٨,١ م إلى ٦,٢١ م تقريباً. استخدم صهريج تخزين قطره ٥,٥ م وارتفاعه ٧,٢٥ م فوق مستوى ماء الخزان، بما يسمح بجزء ظاهر حر حوالي ١,٠ م.

الجدول رقم (٥,٢٨). حسابات ارتفاع التخزين.

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)
T	Δt	V	Δz	z	CV^2	$Z - CV^2$	ΔV
٠	٠	٢,٤٩٤٥	٠	-٢,٧٢٠٠	-٢,٧٢	٠	٠
١	١	٢,٤٩٢٠	٢,٢٥٢٤	-٢,٤٦٧٦	-٢,٧١٩٢	٠,٢٥١٧	-٠,٠٠٢٥
٢	١	٢,٤٨٧١	٠,٢٥٢٢	-٢,٢١٥٤	-٢,٧١٣٩	٠,٤٩٨٥	-٠,٠٠٤٩
٥	٣	٢,٤٥٠٦	٠,٧٥٥١	-١,٤٦٠٣	-٢,٧٠٣٢	١,٢٤٣٠	-٠,٠٣٦٦
١٠	٥	٢,٣٣٢٦	١,٢٤٠٠	-٠,٢٢٠٣	-٢,٦٢٤٣	٢,٤٠٤٠	-٠,١١٧٩
١٥	٥	٢,١٦٨٩	١,١٨٠٣	٠,٩٦٠٠	-٢,٣٧٧٨	٣,٣٣٧٨	-٠,١٦٣٧
٢٠	٥	١,٩٦٧٢	١,٠٩٧٥	٢,٠٥٧٥	-٢,٠٥٥٧	٤,١١٣٣	-٠,٢٠١٨
٢٥	٥	١,٧٣٤٥	٠,٩٩٥٤	٣,٠٥٢٩	-١,٦٩١١	٤,٧٤٤٠	-٠,٢٣٢٧
٣٠	٥	١,٤٧٧٢	٠,٨٧٧٦	٣,٩٣٠٥	-١,٣١٤٧	٥,٢٤٥٢	-٠,٢٥٧٣
٣٥	٥	١,٢٠١٠	٠,٧٤٧٥	٤,٦٧٨٠	-٠,٩٥٣٦	٥,٦٣١٦	-٠,٢٧٦٢
٤٠	٥	٠,٩١٠٨	٠,٦٠٧٧	٥,٢٨٥٧	-٠,٦٣٠٣	٥,٩١٦٠	-٠,٢٩٠٢
٤٥	٥	٠,٦١١١	٠,٤٦٠٩	٥,٧٤٦٥	-٠,٣٦٢٥	٦,١٠٩١	-٠,٢٩٩٧
٥٠	٥	٠,٣٠٦١	٠,٣٠٩٢	٦,٠٥٥٨	-٠,١٦٣٢	٦,٢١٩٠	-٠,٣٠٥٠
٥٥	٥	-٠,٠٠٠٥	٠,١٥٤٩	٦,٢١٠٧	-٠,٠٤١٠	٦,٢٥١٦	-٠,٣٠٦٦
٥٦	١	-٠,٠٦١٥	-٥×١٠^{-٥}	٦,٢١٠٦	$١,٢٩ \times ١٠^{-٣}$	٦,٢١٠٦	-٠,٠٦٠٩
٥٧	١	-٠,١٢٢٣	-٠,٠٠٦٢	٦,٢٠٤٤	٠,٠٠١٧	٦,٢٠٢٧	-٠,٠٦٠٨
٦٠	٣	-٠,٣٠٣٦	-٠,٠٣٧١	٦,١٦٧٣	٠,٠٠٦٥	٦,١٦٠٧	-٠,١٨١٣
٦٥	٥	-٠,٥٩٦٦	-٠,١٥٣٦	٦,٠١٣٦	٠,٠٤٠٣	٥,٩٧٣٣	-٠,٢٩٣٠
٧٥	١٠	-١,١١٢١	-٠,٦٠٣٨	٥,٤٠٩٨	٠,١٥٥٦	٥,٢٥٤٣	-٠,٥١٥٤
٩٠	١٥	-١,٥٨٠٢	-١,٦٨٨١	٣,٧٢١٧	٠,٥٤٠٤	٣,١٨١٣	-٠,٤٦٨١
١٠٥	١٥	-١,٦١٤٣	-٢,٣٩٨٧	١,٣٢٣٠	١,٠٩١٢	٠,٢٣١٨	-٠,٠٣٤١
١١٠	٥	-١,٥٨٣٣	-٠,٨١٦٨	٠,٥٠٦١	١,١٣٨٨	-٠,٦٣٢٧	٠,٠٣١٠٣
١١٥	٥	-١,٥١٥١	-٠,٨٠١١	-٠,٢٩٥٠	١,٠٩٥٤	-١,٣٩٠٤	٠,٠٦٨٢٠
١٢٠	٥	-١,٤١٣٨	-٠,٧٦٦٦	-١,٠٦١٦	١,٠٠٣١	-٢,٠٦٤٧	٠,١٠١٢٧
١٢٥	٥	-١,٢٨٣٨	-٠,٧١٥٤	-١,٧٧٧٠	٠,٨٧٣٥	-٢,٦٥٠٥	٠,١٣٠٠
١٣٠	٥	-١,١٢٩٤	-٠,٦٤٩٦	-٢,٤٢٦٦	٠,٧٢٠٢	-٣,١٤٦٨	٠,١٥٤٤
١٣٥	٥	-٠,٩٥٥٠	-٠,٥٧١٥	-٢,٩٩٨١	٠,٥٥٧٤	-٣,٥٥٥٥	٠,١٧٤٤

obeikandl.com

تابع الجدول رقم (٥,٢٨).

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)
T	Δt	V	Δz	z	CV^2	$Z - CV^2$	ΔV
١٤٠	٥	٠,٧٦٤٧-	٠,٤٨٣٢-	٣,٤٨١٣-	٠,٣٩٨٦	٣,٨٧٩٩-	٠,١٩٠٣
١٤٥	٥	٠,٥٦٢٥-	٠,٣٨٦٩-	٣,٨٦٨٣-	٠,٢٥٥٦	٤,١٢٣٨-	٠,٢٠٢٢٨
١٥٠	٥	٠,٣٥٢٠-	٠,٢٨٤٦-	٤,١٥٢٩-	٠,١٣٨٢	٤,٢٩١١-	٠,٢١٠٥٠
١٥٥	٥	٠,١٣٦٩-	٠,١٧٨١-	٤,٣٣١٠-	٠,٠٥٤١	٤,٣٨٥١-	٠,٢١٥١٠
١٥٦	١	٠,٠٩٤٢-	٠,٠١٣٨-	٤,٣٤٤٨-	٠,٠٠٨٢	٤,٣٥٣٠-	٠,٠٤٢٧٠
١٥٧	١	٠,٠٥١٤-	٠,٠٠٩٥-	٤,٣٥٤٤-	٠,٠٠٣٩	٤,٣٥٨٢-	٠,٠٤٢٨٠
١٥٨	١	٠,٠٠٨٦-	٠,٠٠٥٢-	٤,٣٥٩٦-	٠,٠٠١٢	٤,٣٦٠٧-	٠,٠٤٢٨٠
١٥٩	١	٠,٠٣٤١	٠,٠٠٠٩-	٤,٣٦٠٤-	$٣,٢٧ \times ١٠^{-٥}$	٤,٣٦٠٥-	٠,٠٤٢٨٠
١٦٠	١	٠,٠٧٦٩	٠,٠٠٣٥	٤,٣٥٧-	٠,٠٠٠٥-	٤,٣٥٦٥-	٠,٠٤٢٧٠
١٦١	١	٠,١١٩٥	٠,٠٠٧٨	٤,٣٤٩٢-	٠,٠٠٢٦-	٤,٣٤٦٦-	٠,٠٤٢٦
١٦٢	١	٠,١٦٢٠	٠,٠١٢١	٤,٣٣٧١-	٠,٠٠٦٢-	٤,٣٣٠٩-	٠,٠٤٢٥
١٦٣	١	٠,٢٠٤٣	٠,٠١٦٤	٤,٣٢٠٧-	٠,٠١١٥-	٤,٣٠٩٣-	٠,٠٤٢٣
١٦٤	١	٠,٢٤٦٣	٠,٠٢٠٧	٤,٣٠٠١-	٠,٠١٨٢-	٤,٢٨١٨-	٠,٠٤٢٠
١٦٥	١	٠,٢٨٨	٠,٠٢٤٩	٤,٢٧٥١-	٠,٠٢٦٥-	٤,٢٤٨٦-	٠,٠٤١٧
١٦٦	١	٠,٣٢٩٢	٠,٠٢٩١	٤,٢٤٦٠-	٠,٠٣٦٢-	٤,٢٠٩٨-	٠,٠٤١٣
١٦٧	١	٠,٣٧٠١	٠,٠٣٣٣	٤,٢١٢٧-	٠,٠٤٧٤-	٤,١٦٥٣-	٠,٠٤٠٩
١٦٨	١	٠,٤١٠٥	٠,٠٣٧٥	٤,١٧٥٢-	٠,٠٥٩٩-	٤,١١٥٤-	٠,٠٤٠٤
١٦٩	١	٠,٤٥٠٣	٠,٠٤١٥	٤,١٣٣٧-	٠,٠٧٣٦-	٤,٠٦٠١-	٠,٠٣٩٨
١٧٠	١	٠,٤٨٩٥	٠,٠٤٥٦	٤,٠٨٨١-	٠,٠٨٨٦-	٣,٩٩٩٥-	٠,٠٣٩٢
١٧٥	٥	٠,٦٧٢٨	٠,٢٤٧٧	٣,٨٤٠٤-	٠,١٠٤٧-	٣,٧٣٥٧-	٠,١٨٣٢
١٨٠	٥	٠,٨٣٤٧	٠,٣٤٠٤	٣,٥٠٠٠٠-	٠,١٩٧٨-	٣,٣٠٢٢-	٠,١٦٢٠

أنبوب السحب Draft Tube

يتم تصميم أنبوب السحب عادةً عن طريق المـصّنع. ومـع هـذا فـإن وضـعها بالنسبة للمحرك والمسرب السفلي ربما يجب التحقق منه للتأكـد مـن أنـه لـيس هنـاك

احتمالية لحدوث تكهف عند نقطة التقاء المحرك وأنبوب السحب. ويتم عمل هذا باستخدام معادلة الطاقة التالية (Davis and Sorensen 1970; Zipparo and Hansen 1993):

$$Z_1 + p_1/\gamma + V_1^2/2\,g = V_3^2/2\,g + f\,L\,\left\{(V_1 + V_2)/2\right\}^2 / \left[2\,g\,(d_1 + d_2)/2\right] + \left\{(V_2 - V_3)^2/2\,g\right\} + p_{atm} \quad (٥,١٠٤)$$

حيث إن:

Z_1 = الفرق في المنسوب بين مخرج التربين وأدنى ارتفاع للماء المتصرف.

p_1 = الضغط المطلق عند مخرج التربين.

V_1 = السرعة عند مخرج التربين.

V_2 = السرعة عند مخرج أنبوب السحب.

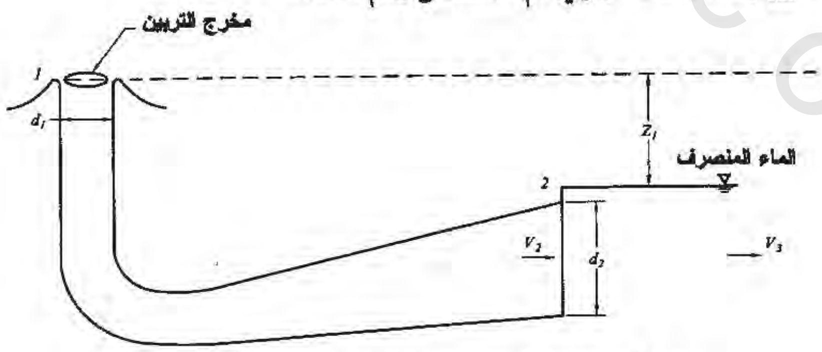
V_3 = السرعة في المسرب السفلي.

d_1 = قطر أنبوب السحب عند مخرج التربين.

d_2 = قطر أنبوب السحب عند المخرج إلى المسرب السفلي.

L = طول أنبوب السحب.

p_{atm} = الضغط الجوي (م) (الشكل رقم ٥,٩).



الشكل رقم (٥,٩). الرسم التوضيحي لأنبوب السحب.

مثال رقم (٥,٢٣): اختبر ما إذا كان هناك احتمال حدوث تكهف في أنبوب السحب في ظل تواجد الظروف التالية: الفرق في المنسوب بين مخرج التربين وأدنى ارتفاع متوقع للماء المتصرف هو ٨ م، وسرعة السريان عند مخرج التربين هي ٧ م/ ث، وقطر أنبوب السحب عند مخرج التربين هو ١,٥ م، وعند المخرج إلى المسرب السفلي ٣ م، وسرعة السريان في المسرب السفلي هي ١ م/ ث، وأنبوب السحب من الخرسانة بطول ٢٠ م. والضغط الجوي عند المسرب السفلي ١٠,٣٤ م (من الماء) وضغط بخار الماء عند مخرج التربين ٠,١٢٥ م (من الماء).

الحل:

باستخدام المعادلة رقم (٥,١٠٤) حيث إن:

$Z_1 = 8\,\text{m}$, $V_1 = 7\,\text{m/s}$, $d_1 = 1.5\,\text{m}$, $d_2 = 3\,\text{m}$

$V_3 = 1\,\text{m/s}$, $L = 20\,\text{m}$, $p_1 = 10.34\,\text{m}$, $p_{atm} = 10.34\,\text{m}$

ولحالة أنبوب السحب من الخرسانة، افترض أن $f = 0.015$. وكذلك في حالة الاستمرارية للتصرف خلال أنبوب السحب:

$$V_2 = V_1 \times (d_1/d_2)^2 = 7 \times (1.5/3)^2 = 1.75\,\text{m/s}$$

وباستخدام المعادلة رقم (٥,١٠٤):

$$p_1/\gamma = -8 - 7^2/(2\times 9.81) + 1/(2\times 9.81) + \left[0.015 \times 20 \left\{(7+1.75)/2\right\}^2\right] /$$
$$\left[2\times 9.81 \left\{(1.5+3)/2\right\}\right] + (1.75-1)^2/(2\times 9.81) + 10.34 = 0.053\,\text{m}$$

وحيث إن الضغط المحسوب عند مخرج التربين أقل من ضغط البخار إذن هناك احتمال لحدوث التكهف. وللسماح للتقلبات غير المتوقعة في ارتفاعات الماء المتصرف، يجب وضع التربين عند مستوى أقل بحوالي ١,٠ م.

محتوى الأكسجين المذاب في مخرجات محطة الطاقة
Dissolved Oxygen Content of Power Plant Releases

في بعض الحالات، يكون الماء المنطلق من المباني الكهرومائية محتوياً على أكسجين مذاب منخفض (DO)، والذي يكون مهماً للأسماك والكائنات المائية الدقيقة الأخرى والتي تؤدي إلى تقليل القدرة على تمثيل المخلفات المفقودة لقناة مهبط النهر. وبالتالي يصبح ازدياد الأكسجين المذاب اعتباراً بيئياً مهماً. ويحدث هذا في الواقع العملي في المباني الكهرومائية التي تقع على الخزانات ذات الطبقات. وإن الخزانات العميقة تميل إلى أن تكون ذات طبقات وبوجه خاص أثناء شهور الصيف عندما تصبح الطبقة العليا من الماء أكثر دفئاً وأقل كثافة بسبب التعرض لضوء الشمس من طبقة القاع. والعمليات التي تستخدم الأكسجين المذاب في مياه الخزان تشمل تنفس الكائنات الحية، وتحلل المواد العضوية، والتفاعلات الكيميائية بين المادة المذابة ورواسب الخزان. وتحدث هذه العمليات في كل من الطبقة العليا والطبقة السفلى. مع هذا فإن الأكسجين المستنفذ من الطبقة العليا للماء يعاد تعويضه بسبب التعرض إلى الغلاف الجوي وضوء الشمس، لكن في الطبقات السفلى المعزولة في الخزان التراصفي، يكون هناك استنفاذ مستمر للأكسجين المذاب مع قليل من إعادة التعويض. ونتيجة لهذا فإن الماء المنسحب من المستويات الأكثر انخفاضاً في الخزان التراصفي له تركيزات أكسجين مذاب أقل. وعندما يمر هذا الماء عبر مناطق الضغط المنخفض من التربين وأنبوب السحب، يطلق الهواء والأكسجين، مؤدياً إلى المزيد من النقص في الأكسجين المذاب. ومن هنا فإن الهواء المنطلق من التربين وأنبوب السحب يحتوى على أكسجين مذاب منخفض.

طرق زيادة الأكسجين المذاب في الماء من محطات القدرة المائية تشمل التالي:

١- مداخل الانسحاب المختارة: تصمم هذه المداخل بمنافذ متعددة لتسحب باستمرار كميات متناسبة من الماء من الطبقة العليا للماء (ذات تركيز الأكسجين المذاب العالي) والطبقة السفلى (ذات تركيز الأكسجين المذاب المنخفض)، ويتم خلطهما قبل الدخول إلى التربين.

٢- تنفيس (تهوية) التربين وحقن الهواء المضغوط في أنبوب السحب (USAEWES 1983): في هذه الحالة يتم شفط أو سحب الهواء إلى مناطق يكون الضغط فيها أدنى من الضغط الجوي في أنبوب السحب أسفل مخرج التربين. وهذه المناطق ذات الضغط الأقل من الضغط الجوي يمكن أن تحدث كما هو موصوف في "أنبوب السحب"، أو ربما تتكون من خلال التصميم. ويتكون التفريغ من خلال تركيب العارضات أو ألواح الانحراف قرب فتحات التنفيس، التي تسبب فصل التدفق ومساحات الضغط المنخفض التي تقع قرب فتحات التنفيس (التهوية). يتم عمل الهوايات غالباً على التربينات المائية كجزء من نظام التغلب على التفريغ من أجل حماية التربين أثناء الغلق السريع ولتقليل الاهتزاز وتكون الفجوات أثناء العملية العادية. وأن حقن الهواء المضغوط في أنبوب السحب يتم استخدامه عندما لا تسمح الظروف الهيدروليكية باستخدام أنبوب التهوية لتنفيس التربين.

٣- تهوية أو إزالة تراصف الخزان: يتضمن هذا حقن الأكسجين باستخدام الرذاذات أو عن طريق عمل ريشة فقاعة هواء منتشرة في عمود الماء. وأن ارتفاع فقاقيع الماء من الطبقة السفلى للماء إلى الطبقة العليا يميل إلى أن يزيل تراصف الخزان ويضيف أكسجين إلى عمود الماء الأكثر انخفاضاً.

يعتمد تصميم واقتصاديات أجهزة زيادة الأكسجين المذاب على تجارب النموذج، والخبرة في التركيبات المثيلة، واستشارة المصّنعين لأجهزة معينة. ويجب اتخاذ الاحتياطات لضمان أن يكون زيادة الأكسجين المذاب لا تؤدى إلى التشبع المفرط للماء بالغازات، والذي يمكن أن يسبب مرض فقاعة الغاز للأسماك. وهو ينتج عندما يتشبع الماء بشكل مفرط بالنيتروجين والأرجون والغازات المذابة الناتجة من الذوبان في دماء الأسماك. وإذا كان المدخل موضوعاً عند عمق كبير في الخزان، يمكن أن ينطلق الماء إلى المسرب السفلي، حيث يمكن أن يكون الضغط أقل والحرارة أعلى. ويمكن أن يكوّن هذا جهداً للغازات الناتجة من الذوبان، مؤديةً إلى مرض فقاعة الغاز (ASCE 1989).

التسرب في الأنفاق الصخرية Infiltration into Rock Tunnels

بالإضافة إلى تقييم معدات الحجم والتبطين الخاصة بالأنفاق، فإن مهندس مصادر المياه عليه أن يستنتج احتمالية الترسيب خلال الأنفاق الصخرية حتى يمكن للمقاول اتخاذ الترتيبات الملائمة للتحكم في المياه الجوفية أثناء مراحل الإنشاء والتشغيل. والمعدلات المقاسة والمقدرة للتسرب من خلال تكوينات الدولوميت (كربونات الكالسيوم والماغنسيوم البلورية) التي تمت مصادفتها في نفق شيكاغو ونظام خطة الخزان تراوحت من ٦١ إلى ١١٧٦ م٣/ يوم لكل كيلومتر من طول النفق (Dalton and La Russo 1979). وفي كثير من الحالات الميدانية، لا تكون هناك بيانات متاحة كافية لمعايرة وتأدية النفاذية المزدوجة المعقدة أو نماذج تدفق التصدع لمحاكاة تدفق المياه الجوفية المشبعة-غير المشبعة خلال التكوينات الصخرية المتعددة. ويحدث عادةً التسرب من سطح المصطبة أو الغطاء الصخري إلى موقع النفق خلال تكوينات صخرية وسيطة متعددة. وبسبب الطبيعة العملية لإجراءات التقدير يُنصح بتقدير

معدلات التسرب باستخدام نماذج مختلفة متعددة واختيار قيمة التصميم عن طريق الحكم. وبعض الطرق التقريبية موصوفة هنا.

منهج التسلسل Continuum Approach: يتضمن هذا المنهج عرض الوصلات والتصدعات في التكوينات الصخرية التي تقع فوق فلقة النفق عن طريق الأوساط المسامية المتجانسة المكافئة باستخدام التوصيلات الهيدروليكية التي تم الحصول عليها عن طريق اختبار الكتلة أو اختبارات الحشوة في التكوينات المختلفة. وهذا المنهج يعتبر تقريباً معقولاً للخصائص الهيدروليكية إذا كانت المسافة الفاصلة بين الوصلات وأسطح القاع والتصدع كثيفة بشكل معقول والسلوك الهيدروليكي للكتل الصخرية شبيهاً بالأوساط الحبيبية المسامية (Freeze and Cherry 1979).

في هذا المنهج، من المفترض أن معامل التوصيل الهيدروليكي لكل تكوين تم الحصول عليه من اختبارات الكتلة أو الحشوة هو المتسبب في التسرب في الأنفاق. وهذا يعني أن متوسط معامل التوصيل الهيدروليكي المقدر يمثل معامل التوصيل الهيدروليكي الرأسي للتكوين الخاص بها. ومن المفترض أنه في أغلب الأحيان وبشكل محافظ تكون الوصلات أو التصدعات أو الأوساط المسامية في الغطاء الصخري والتكوينات السفلى متصلة هيدروليكياً.

كل تكوين يمكن أن يكون له معامل توصيل هيدروليكي وسمكاً مختلفاً. ويتم تقدير معامل التوصيل الهيدروليكي الرأسي المكافئ عن طريق المعادلة:

$$K\,(\text{equivalent}) = \sum H_n \,/\, \sum \left(H_n \,/\, K_n\right) \qquad (٤,٢)$$

حيث إن:

K = معامل التوصيل الهيدروليكي الرأسي المكافئ للتسرب إلى فلقة النفق (م/ اليوم).

H_n = سمك التكوين n (م).

K_n = معامل التوصيل الهيدروليكي للتكوين n (م/ اليوم).

Σ = مجموع كل التكوينات التي تقع فوق فلقة النفق.

إن التسرب سوف يكون تحت وحدة الميل الهيدروليكي في الاتجاه الرأسي على امتداد محيط النفق. وسوف يعمل النفق كحوض عند الضغط الجوى. ولهذا ربما يكون هناك بعض التركيز لخطوط السريان في هذا الجوار. ولحساب هذا يمكن استخدام معامل تركيز تدفق يساوي ١,٥. إذن:

$$Q = 1.5 \times K \times i \times L \times P \qquad (٥,١٠٥)$$

حيث إن:

Q = معدل التسرب (م^3/ اليوم).

L = طول فلقة النفق (م).

i = الميل الهيدروليكي للتدفق الرأسي.

P = محيط القطاع العرضي للنفق (م).

في الواقع سوف يحدث الجزء الأكبر من التسرب خلال النصف العلوي من النفق. وتعد المعادلة رقم (٥,١٠٥) تقريبية لأنها تفترض أن التسرب يكون منتظم التوزيع على كل جوانب النفق.

التسرب خلال الفراغات المملوءة بالتربة:

Infiltration through Soil-Filled Joints

في بعض الحالات يمكن أن يكون هناك فراغات ملحوظة مملوءة بالتربة في التكوينات الصخرية. ومعظم هذه الفراغات عادةً تكون مملوءة بجزيئات الرمل الناعم والطمي والطين التي تنتقل من السطح أو الغطاء الصخري مع ماء المطر المتسرب. واعتماداً على البيانات المنشورة حول معامل التوصيل الهيدروليكي، يمكن أن تحدد مواد الملء على أنها ذات معامل توصيل هيدروليكي عالي أو منخفض الحد (مثلاً، $١٠^{-٣}$ و $١٠^{-٢}$ سم/ث).

واعتماداً على البيانات الخاصة بالموقع حول توزيع أحجام حبيبات الملء، فإنه يمكن تقدير متوسط الاتساع الموزون والمسافات الفاصلة للفراغات الصخرية. ويتم استخدام المسافات بين الفراغات لتقدير عدد الفراغات المحتملة في فلقة النفق. وعدد مجموعات الفراغات في فلقة النفق يعطى بالمعادلة التالية:

$$N = \left[\left(L_T / NW\right) + \left(L_T / NE\right)\right] \qquad (٥,١٠٦)$$

حيث إن:

L_T = طول فلقة النفق (م).

NW = متوسط التباعد الموزون لمجموعة واحدة من الفراغات (م).

NE = متوسط التباعد الموزون للمجموعة المتعامدة من الفراغات (م).

وعند الضرورة، يمكن إضافة مجموعات الفراغات الأخرى.

وحيث إن المصفوفة الصخرية متماسكة نسبياً، فإنه يمكن افتراض إهمال التسرب خلال المصفوفة الصخرية وان التسرب الكلي يفترض حدوثه فقط خلال الفراغات المملوءة بالتربة تحت الظروف المشبعة. ويفترض أن يكون التدفق خلال الشقوق الرأسية المملوءة بالطين والطمي و/ أو الحصى، ويمكن أن يكون هناك تدفق

ضغط بسيط خلال قاع أجزاء النفق. ويفترض أن تفتح الشقوق على امتداد سقف وجدران جانب النفق. وبالتالي:

$$Q = N \times (W + 2T) \times b \times K \times i \quad (٥,١٠٧)$$

حيث إن:

Q = التسرب في فلقة النفق (م³/ اليوم).

N = العدد المقدّر للفراغات الكلية أو التصدعات في فلقة النفق.

W = عرض النفق (م).

T = ارتفاع النفق (م).

b = متوسط العرض الموزون للفراغ النموذجي (م).

K = معامل التوصيل الهيدروليكي لمادة الملء (م/ اليوم).

i = الميل الهيدروليكي للتسرب الرأسي.

التسرب خلال التصدعات Infiltration through Fractures: في بعض الحالات، يمكن أن يكون التسرب من خلال التصدعات الضيقة في التكوينات. والتدفق خلال التصدع الضيق معطى بالمعادلة التالية (Streeter 1971):

$$q = g\, b^3\, i/(12\, \nu) \quad (٥,١٠٨)$$

حيث إن:

q = التدفق (م³/ ث) لكل متر طول من التصدع.

b = العرض الظاهري للفراغ المملوءة بالماء (م).

i = الميل الهيدروليكي.

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ ث²).

ν = اللزوجة الكينياتيكية للماء (م²/ ث).

openelkanah.com

مدى عرض التجاويف المفتوحة المستخدم في بعض التحليلات السابقة يكـون مـن ٠,٠٠١ إلى ٠,٠٠٢ سـم (Long and Witherspoon 1985; Freeze and Cherry 1979)، ومع هذا، يمكن أن تكون عرض الفراغات الصخرية أكبر. إذا كانت البيانات الميدانية غير متاحة، فيمكن افتراض عرض تصدع أكبر نسبياً (مثلاً، 0.002 cm).

ويـسبب الأنـماط المتعرجـة للتـصدعات المـشتركة، فـإن المـاء المتـدفق خـلال التصدعات المشتركة يتبع مساراً ملتوياً (متموجاً). ويتم تعريف التموج، τ، عـلى أنـه مربع نسبة الطول الفعلي للتـدفق عـلى امتـداد مـسارات التـدفق المتعرجـة في الوسـط المسامي إلى الطول المستقيم. ويعطى هذا الميل الهيدروليكي التقريبي في المعادلة التاليـة (Brooks and Corey 1964; Delleur 1999):

$$i \cong 1/\sqrt{(\tau)} \qquad (٥,١٠٩)$$

يمكن تقدير الالتواء عن طريق التجارب المعمليـة عـلى العينـات الجوفيـة الـصخرية. وعندما لا تكون هناك بيانات متاحة فـإن القيمـة التقريبيـة لقيمـة τ تـساوي خمـسة، يمكن استخدامها للتقديرات الأولية ويمكـن تعـديل النتـائج مـع عوامـل الـسلامة الملائمة.

يمكن تقدير طول التصدعات (الشروخ) لكل مساحة متر مربع مـن الـصخور من خرائط التصدع. أما لأجل التقديرات التمهيدية في الحـالات التـي لا تكـون مثـل هذه الخرائط متاحة فإن خرائط التصدع لتكوينات أخرى مثيلة يمكن أن تستخدم مع عوامل سلامة ملائمة. إذن:

$$Q = q\, L_f\, W\, L_T \qquad (٥,١١٠)$$

حيث L_f يساوي طول التصدعات (الشروخ) لكل متر مربع من الصخور. وإذا بالإضافة إلى سقف النفق، يتوقع وجود فتحات تصدع على امتداد جدران الجانب أيضاً، إذن يجب أن تتغير W في المعادلة رقم (٥,١١٠) إلى $W + 2T$.

مثال رقم (٥,٢٤): ضع تقديراً مبدئي للتسرب خلال فلقة النفق لتحتوى في مظروف مناقصة لإنشاء نفق. هناك خمسة تكوينات صخرية فوق النفق. وسمك ومعامل التوصيل الهيدروليكي (التي تم الحصول عليها من اختبارات الحشوة) لهذه التكوينات معطاة في الجدول رقم (٥,٢٩). وفحص العينات الجوفية وخرائط التصدع أوضح أنه ربما يكون هناك خلط للفراغات الضيقة والتصدعات مع متوسط طول تجويف قدره ٣ م/ م٢ من السطح الصخري. ومتوسط عرض التجاويف (مع التصدعات الضيقة وبعض الفراغات المملوءة بالماء أو الهواء الواسعة نسبياً) هو ٠,٠١ سم. وعرض فلقة النفق تبلغ ١٠ م، وارتفاعها ٧ م، وطولها ٣٠٠ م. افترض أن τ تساوي خمسة، وأن اللزوجة الكينماتيكية للماء تبلغ ١,٣١×١٠⁻٦ م٢/ ث عند ١٠°م.

الحل:

باستخدام قانون الاستمرارية على اعتبار أن:

$$W = 10\,m \quad , \quad T = 7\,m \quad , \quad P = 2 \times (10 + 7) = 34\,m$$

وباستخدام المعادلة رقم (٤,٢)، فإن معامل التوصيل الهيدروليكي الرأسي المكافئ للتكوينات فوق فلقة النفق:

$$K = 71.6 / 3225.2 = 0.0222 \;\; m/day$$

وباستخدام المعادلة رقم (٥,١٠٥)، فإن معدل التسرب لفلقة هذا النفق:

$$Q = 1.5 \times 0.0222 \times 1.0 \times 300 \times 34 = 340\,m^3 / day$$

باستخدام قانون تدفق التصدع مع اعتبار أن:

$$b = 0.0001\,m \quad , \quad \tau = 5.0 \quad , \quad \nu = 1.31\times10^{-6}\ m^2/s$$
$$W = 10\,m \quad , \quad L_T = 300\,m \quad , \quad L_f = 3\,m$$

$$i = 1/\sqrt{5.0} = 0.447$$

$$q = 9.81\times(0.0001)^3\times0.447\times10^6/(12\times1.31) = 0.00000028\ \ m^2/s$$

$$q = 0.0241\ \ m^2/s$$

$$Q = 0.0241\times300\times10\times3 = 216.91\ \ m^3/day$$

أي أن المدى المقدر من معدلات التسرب خلال فلقة النفق يكون من حوالي ٢١٧ إلى ٣٤٠ م^3/ يوم .ويجب أن يتم تحديث هذه التقديرات عندما تصبح البيانات الخاصة بالموقع متاحة.

الجدول رقم (٥,٢٩). السمك ومعامل التوصيل الهيدروليكي للتكوينات فوق قاع النفق.

التكوين	السمك (م) H_n	معامل التوصيل الهيدروليكي (م/ يوم) K_n	H_n/K_n
A	١٢,٢	٠,٠٠٦٧٣٦	١٨١١,٢
B	٢٦,٧	٠,٠٧١٨٠٧	٣٧١,٨
C	٧,٦	٠,٠٥٦٧٥١	١٣٣,٩
D	١٣,٧	٠,٠٣٨٩٥١	٣٥١,٧
E	١١,٤	٠,٠٢٠٤٨٢	٥٥٦,٦
المجموع	٧١,٦	–	٣٢٢٥,٢

Obeikandl.com

التحليل الاقتصادي

ECONOMIC ANALYSIS

تقدير تكاليف وفوائد المشروعات الهندسية لمصادر المياه

Estimates of Costs and Benefits of water Resources Engineering Projects

التكاليف التالية متعلقة بمشروع نموذجي لهندسة المصادر المائية:

١- إصلاح الأراضي.

٢- تجميع / تفريق المعدات والعمالة.

٣- مباني للتخزين، وورش العمل، والمنازل.

٤- المنشآت المدنية والمنشآت الأخرى المتعلقة بالمشروع مثل (التحويل أو الخزان، الأنفاق، إنشاء الصهاريج، سد الماء وبنايته، سد لمنع الفيضان، الحماية من الانجراف وعوامل التعرية، القنوات، الآبار، والتنقيب عن الترب الملوثة أو أي أنشطة تتوسط ذلك).

٥- الطرق والمداخل وأنظمة الاتصالات.

٦- إعادة الإصلاح أو التقويم، والانتقال إلى موقع جديد والاستقرار بعد الترحيل.

٧- التصاريح والامتثال البيئي الذي يحتوي على المراقبة.

٨- الإدارة أثناء الإنشاء.

obeikandi.com

٩- التشغيل والصيانة أثناء عمر المشروع.

الفوائد يمكن أن تتضمن فوائد أو منافع أساسية مثل (إمداد البلدية بالماء، والري، والطاقة الكهربائية، والتحكم في فيضان الماء، والتحسين البيئي والمواقع المتوسطة)، ومنافع ثانوية مثل (التطورات الحادثة بسبب وفرة الإمداد بالماء، ومنشآت التحكم بتدفق الماء، والطاقة الكهربائية والتحسين البيئي). وفوائد تأتي في المرتبة الثالثة مثل (تطور الأعمال الأخرى، والمنافع، والطوارئ الصناعية المتعلقة بتطورات المشروع).

كلاً من التكاليف والفوائد يمكن التعبير عنهم في شروط ملموسة (إعطاء قيمة للدولار) أو/ وغير ملموسة (عدم وجود قيمة للدولار). الشروط غير الملموسة تتضمن التعبير عن أي علاقة ترتبط بالمشروع سواء صغيرة، أو متوسطة، أو أساسية، وغير مهمة أو مهمة. علاوة على ذلك يمكن التعبير عنهم كعدد من الأشخاص أو المقيمين في المنزل، أشجار، مزايا علم التربة والمساحة بالإيكارات مثل (مناطق صيد السمك وبيئة الحياة البرية) متأثرة بالمشروع.

تحليل الأرباح-التكاليف Benefit-Cost Analysis

التحليل الاقتصادي لمشاريع هندسة مصادر الماء يتضمن مقارنة للتكاليف والأرباح (الفوائد) لمشروع أو بديل للمشروع. التكاليف والفوائد يمكن التعبير عنهم كخطه سنوية أو الاستفادة من قيمتهم طوال عمر المشروع بمعدلات ملائمة من خصم معدل الفائدة وتزايد السعر مع مرور الوقت. ولوصف مبسط لتقييم البدائل، يتم دائماً تجاهل تزايد الأسعار. والتكاليف السنوية يمكن أن تتضمن قيم محسوبة لمدة سنة من رأس المال، والتشغيل السنوي وتكاليف الصيانة والتقييم السنوي المسئول عن الخسائر والتعويض/ التأمين، والتكاليف تشمل إقامة وتشغيل المشروع. والفوائد

السنوية يمكن أن تتضمن قيم مالية لفوائد أولية وثانوية تنسب إلى المشروع. وتكلفة الدين والتعويض أو التأمين يمكن أن تتضمن دفعات سنوية لتغطية خسارة مخازن، منشآت تنسب إلى تشغيل منشآت المشروع مثل (تلف نظام الإنذار) أو تلف في طاقة بناية المشروع مثل (خسائر ناتجة عن فشل في السد). علاوة على ذلك فإن هذه التكاليف يمكن أن تتضمن تكلفة رأس المال لإعادة بناء أو إصلاح البناية أو إعطاء فوائد ملائمة حتى الوقت المتبقي لعمر المشروع. تلك التكاليف محسوبة باستخدام احتمال الفشل، عمر المشروع، معدل الخصم والقيمة المالية المحسوبة لعواقب الفشل (ASCE 1988; Prakash 1992a, 1992b).

تكلفه رأس المال (تكلفة الوقت الحاضر) يمكن أن تتحول إلى تكلفة سنوية متساوية بواسطة:

$$CA = CP\, i\,(1+i)^n / \left[(1+i)^n - 1\right] \qquad (٦,١)$$

حيث إن:

CA = التكاليف السنوية المكافئة.

CP = تكلفه رأس المال (التكلفة الحالية).

i = معدل الخصم في السنة للدولار.

n = العمر المتوقع للمشروع.

كل التكاليف بتكلفة الدولار للوقت الحالي

عامل تغطيه رأس المال (CRF) هو القيمة السنوية التي بعد n عدد من السنين سوف يحدث تساوي مع دولار واحد مستثمر اليوم. CRF معطى بواسطة المعادلة التالية:

$$CRF = i\,(1+i)^n / \left[(1+i)^n - 1\right] \qquad (٦,٢)$$

طريقة حساب نسبة معدل الفائدة (B/C) هي:

$$B/C\ ratio = BA / (CA + OM) \quad (٦,٣)$$

حيث إن:

BA = الفوائد السنوية.

OM = التكلفة السنوية للصيانة والتشغيل.

السعر المستقبلي يتزايد في الوقت الحاضر، والتكاليف والفوائد السنوية يمكن تحديدها بواسطة (USACE 1979 ; Prakash 1992a):

$$A = CA\ (1+j)i\left[(1+i)^n - (1+j)^n\right] / \left[\{(1+i)^n - 1\}(i-j)\right] \quad (٦,٤)$$

حيث إن:

A = تكاليف القيمة السنوية مع تزايد الأسعار.

CA = القيمة السنوية المحسوبة للفوائد والتكاليف.

j = معدل تزايد الأسعار بالدولار في السنة.

عادة معدل تزايد الأسعار j يكون أقل من معدل الخصم i.

متوسط الخسائر السنوية مؤمن بواسطة مشروع التحكم بالفيضان ويقدر بواسطة طريقة القيم المتوقعة:

$$ED = \sum D(P) \times \Delta P \quad (٦,٥)$$

حيث إن:

ED= الخسائر المتوقعة.

D(P) = غالباً ما تحدث الخسائر أثناء احتمال التدفق P.

ΔP= احتمال الزيادة أو التردد.

$\sum$ = المجموع من ١ إلى جميع أرقام تزايد الاحتمالات.

obeikandl.com

خطوات الحساب مبينة بالتالي:

• قائمه فتره العودة (T) لتدفقات مختلفة من سنة واحدة إلى تدفق الحد الأقـصى (العمود رقم ١ في الجدول رقم ٦,١).

الجدول رقم (٦,١). حساب الخسائر المتوقعة لمشروع التحكم بالتدفق.

(١) فتره العودة (T) (سنة)	(٢) الاحتمال (P)	(٣) احتمال الزيادة أو التردد (ΔP)	(٤) الخسائر D(P) (ألف دولار)	(٥) الخسائر المتوقعة D(P) × Δ P (ألف دولار)
١,٠٠٥	٠,٩٩٥	٠,٠٠٥	صفر	صفر
٢.٠٠٠	٠,٥	٠,٤٩٥	٣٠٠	١٤٨,٥
٢.٥٠٠	٠,٤	٠,١٠٠	٤٠٠	٤٠
٣.٣٣٣	٠,٣	٠,١٠٠	٥٠٠	٥٠
٥.٠٠٠	٠,٢	٠,١٠٠	٥٥٠	٥٥
١٠.٠٠٠	٠,١	٠,١٠٠	٦٠٠	٦٠
٢٠.٠٠٠	٠,٠٥	٠,٠٥٠	٦٥٠	٣٢,٥
٢٥.٠٠٠	٠,٠٤	٠,٠١٠	٧٠٠	٧,٠
٣٣.٣٣٣	٠,٠٣	٠,٠١٠	٧٥٠	٧,٥
٥٠,٠٠٠	٠,٠٢	٠,٠١٠	٨٠٠	٨,٠
١٠٠,٠٠٠	٠,٠١	٠,٠١٠	٨٥٠	٨,٥
٢٠٠,٠٠٠	٠,٠٠٥	٠,٠٠٥	١٠٠٠	٥,٠
٢٠٠ <	٠,٠٠٥ >	٠,٠٠٥	١١٠٠	٥,٥
المجموع		١,٠٠٠		٤٢٧,٥

obeikandl.com

• حساب احتمال التراكم لكل فتره عوده: p = 1/T (العمود رقم ٢، في الجدول رقم ١,٦).

• حساب احتمال التزايد بين احتمال التراكم القريب (العمود رقم ٣، في الجدول رقم ١,٦). ويجب أن يكون مجموع احتمالات التزايد مساوي للواحد الصحيح.

• تقدير الخسائر مع التدفق لكل فتره عوده (العمود رقم (١) والعمود رقم (٤)، في الجدول رقم (١,٦)).

• حساب الخسائر المتوقعة مع كل احتمال تزايد، D(P) × ΔP (العمود رقم (٥)، في الجدول رقم (١,٦)).

• تقدير إجمالي الخسائر (المتوقع السنوي) كما هو موضح في المعادلة رقم (٦,٤) (العمود رقم (٥)، في الجدول رقم (١,٦)).

مثال رقم (١,٦): مشروع التحكم بالتدفق يتضمن القنوات، وإنشاء السد، والحماية من الانجراف. تكلفه المشروع (بسعر الدولار الحالي) ٤,٥ مليون دولار. ومعدل خصم معدل الفائدة لعمر المشروع ٥٠ سنة هو ٧٪. وتقدير منع أضرار الفيضان المحتمل بالمشروع موضحة بالعمود رقم (٤) في الجدول رقم (١,٦). تكلفه الصيانة والتشغيل المقدرة بسعر الدولار في الوقت الحالي ٢٥ ألف دولار للسنة. أحسب نسبه B/C مع تجاهل تزايد السعر وأيضاً بأخذ تزايد الأسعار في الاعتبار بفرض أنها ٣٪ لكل سنة.

الحل:

الخسائر التي يمكن أن تكون قد حدثت أثناء الفيضان لاحتمالات مختلفة والتي تم تجنبها بواسطة المشروع موضحه في العمود رقم (٢) ورقم (٤) من الجدول رقم

(٦,١). والتردد أو احتمال التزايد لكل حدث فيضان أو تجنب الخسائر موضح في العمود رقم (٣). والعمود رقم (٣) هو الفرق بين قيمتين متتابعتين لـ P في العمود رقم (٢). والخسائر المتوقعة هي ناتج ضرب العمود رقم (٣) في العمود رقم (٤) وموضحة في العمود رقم (٥).

المجموع السنوي المقدر للخسائر المتجنبة هو ٤٢٧,٥ ألف دولار. ولكي نوضح التحليل نفترض أن متوسط الفوائد السنوي لا يمكن التحكم فيه أو بالأحرى تقديره تقدير احتمالي.

تجاهل تزايد السعر من المعادلة رقم (٦,١) يعطي

$$CA = 4.5 \times 0.07\ (1.07)^{50} / [(1.07)^{50} - 1] \times 10^6 = 326069\ \$$$

بإضافة تكاليف التشغيل والصيانة السنوية، يكون إجمالي التكاليف السنوية =

$$CA + OM = 326069\ \$ + 25000 = 351069\ \$$$

نسبة معدل الفائدة

$$B/C = 427500 / 351069 = 1.22$$

ويفرض تزايد الأسعار، فإن قيمه الدولار لفوائد المشروع وتكلفة الصيانة والتشغيل سوف تتزايد. وتكلفة رأس المال تسبب هذا بالفعل. ولذلك تزايد الأسعار لن يؤثر على قيمته السنوية. واستخدام المعادلة رقم (٦,٤) مع فرض معدل تزايد الأسعار j يساوي 0.03 ، تعديل الفوائد السنوية =

$$427500 \times (1.03) \times 0.07 \times [(1.07)^{50} - (1.03)^{50}] / [\{(1.07)^{50} - 1\}(0.07 - 0.03)]$$
$$= 427500 \times 1.588 = 678870\ \$$$

وبالمثل تعديل تكاليف الصيانة والتشغيل السنوية =

$$1.588 \times 25000\ \$ = 39700\ \$$$

إجمالي التكاليف السنوية =

$$39700\ \$ + 326069\ \$ = 365769\ \$$$

تعديل نسبة معدل الفائدة

$$B/C = 678870 / 365769 = 1.86$$

تقييم بدائل المشروع الهندسي لمصادر المياه

Evaluation of Water Resources Engineering Project Alternatives

النسبة (B/C) تعتبر مرجع مناسب للتقييم النسبي لعدة بدائل مختلفة للمشروع أو لتقييم الحيوية الاقتصادية للمشروع. ولإضافة أوضح للتحليل الاقتصادي لبدائل المشروع حيث استثمار رأس مال إضافي يمكن أن يزيد فوائد المشروع وذلك لكي نقيم تزايد التكلفة والفوائد الاقتصادية لتعدد بدائل المشروع.

مثال رقم (٦,٢): قيم دراسة الجدوى الاقتصادية من ستة بدائل من مشروع التحكم في الفيضان مع التكاليف والفوائد المتزايدة المشار إليها في الجدول رقم (٦,٢).

الجدول رقم (٦,٢). حساب التكاليف والفوائد المتزايدة.

البديل	التكاليف السنوية (دولار)	التكاليف المتزايدة (دولار)	الفوائد السنوية (دولار)	الفوائد المتزايدة (دولار)	نسبة الفائدة (B/C)	الفوائد المتزايدة/ التكاليف المتزايدة
١	٢٢٠٠٠٠	٠	٢٥٠٠٠٠	٠	١,١٤	٠
٢	٢٥٨٠٠٠	٣٨٠٠٠	٣٠٠٠٠٠	٥٠٠٠٠	١,١٦	١,٣١
٣	٣١٠٠٠٠	٥٢٠٠٠	٤٢٠٠٠٠	١٢٠٠٠٠	١,٣٥	٢,٣١
٤	٤١٠٠٠٠	١٠٠٠٠٠	٥٥٠٠٠٠	١٣٠٠٠٠	١,٣٤	١,٣٠
٥	٥٦٨٠٠٠	١٥٨٠٠٠	٦٠٠٠٠٠	٥٠٠٠٠	١,٠٦	٠,٣٢
٦	٦٧٠٠٠٠	١٠٢٠٠٠	٦٨٠٠٠	٨٠٠٠٠	١,٠١	٠,٧٨

الحل:

بناء على نسبة B/C الموضحة في الجدول رقم (٦,٢)، البديل رقم ٣ هو الخيار المفضل. وعلى كل حال إذا كانت القدرة الاقتصادية متاحة من رعاة المشروع، فالبديل رقم ٤ يمكن أن يمدنا بفوائد سنوية إضافية بمبلغ ١٣٠ ألف دولار مع تكاليف

سنوية إضافية بمبلغ ١٠٠ ألف دولار، وقد يستحق أن يوضع في الاعتبار. هذه يشار إليها بنسبة الفوائد المتزايدة / التكاليف المتزايدة من الاتحاد الأكبر.

طريقة ذاتية لتقييم نسبي لبدائل متعددة للمشروع حيث كلاً من التكاليف والفوائد المالية الشرعية يجب أن توضع في الاعتبار كخليط من المشاريع المتاحة وغير معروفة (Prakash 1991). وللوصول لهذا التقييم يتشكل فريق من العلماء تضمن مهندس مصادر الماء، مندوبي الملاك/ التشغيل، منتفعين وتأثير الجماعات على المشروع، عضو من الوكالة المنظمة، وعلماء بيئة. وتكوين فريق العمل يمكن أن يتنوع على حسب نوع المشروع وأهمية العلاقة بعوامل التقييم المختلفة. وأعضاء الهيئة يمكن أن يشاركوا في عده جلسات مغلقة.

في الجلسة الأولى، تدرج كل عوامل التقييم النسبي لبدائل المشروع، ومناقشة البدائل وتعريفها وتأثير اتحادها مع البدائل الأخرى. وكل عضو منفرد يحدد أهمية لكل عامل تقييم بحيث تكون مجموع الأهميات الذي يراها يساوي ١,٠ أي أن

$$\sum W(i) = 1.0 \qquad (٦,٦)$$

حيث إن W(i) تساوي كسر يحدد أهمية عامل التقييم i، والمجموع فوق كل عوامل التقييم. وتحدد الأهمية من خلال الأعضاء بجانب عرضه أو عرضها للأسباب ويتم المراجعة بواسطة جميع الأعضاء حتى يتوصلوا بالإجماع على أهمية محددة. وبعد هذه الدراسات، كل عضو في الهيئة يطلب منه مراجعة قراره. وتكرر هذه العملية حتى يتم التوصل لمجموعة محددة من الاتفاقات لكل عوامل التقييم. وتوضع هذه النتائج في عمود المتغير W(i).

في الجلسة الثانية كل عضو في الجلسة يقوم بتحديد نتيجة لكل بديل يتطابق مع كل عامل تقييم بميزان من صفر إلى ١٠. وتحقيق ١٠ يعتبر الأكثر إيجابيه وصفر يعتبر

الأكثر سلبية. وكما كان في الجلسة الأولى نتائج كل أعضاء الهيئة يتم مراجعتها بناءاً على بحوث ومناقشات متبادلة حتى يتم الحصول على مجموعة من النتائج المتفق عليها لكل بديل لكل عوامل التقييم. ولعوامل التقييم ذات القيم الكمية مثال (تكلفة رأس المال، الفوائد السنوية، ... إلخ)، نتيجة غير مرغوب فيها من ٠,٥ تحدد للقيمة الوسطى لكل البدائل. أي زيادة أو نقص مع تقدير القيمة الوسطى يتم التعبير عنها بالزيادة الإضافية أو تطرح النتيجة الوسطى من ٠,٥. وهذه الزيادات أيضاً يتم تحديدها في الجلسة النهائية.

بناء على المعلومات عن النتيجة والأهمية، التي يتم جدولتها في قاعدة بيانات تنظيميه واضحة. وعوامل التقييم تشكل الأعمدة، والأرقام التي تمثل البدائل تشكل الصفوف لهذا الجدول. كل صف في الجدول (مصفوفة) يتضمن نتائج يتم تحديدها لبديل مع التقدير لكل عامل تقييم. والأهمية التي تم تحديدها لكل عامل تقييم تم إدراجها في عمود (أي، كعمود رئيس). وناتج المنظومة المسطحة مع العمود الرئيسي من الأهمية يعطى العمود الرئيس الذي يحتوى على النتيجة المهمة لكل بديل. وكل إدخال في الصف مضاعف بالتقارب مع الأهمية في العمود الرئيس، وكل المنتجات يتم إضافتها للحصول على نتيجة متوسط الأهمية للبدائل في ذلك الصف. ويمكن تحقيق هذا يدوياً أو في جدول حسابات مثل (برنامج الإكسل). النتائج المهمة تمثل التصنيف لكل بديل.

مثال رقم (٦,٣): تسع بدائل وثمان عوامل تقييم تم تعريفهم لمشروع هندسة مصادر المياه. ومعيار النتيجة والأهمية يتم تحديده في جلسة تقييم العمل وموضح في الجدول

رقم (٦,٣)، ورقم (٦,٤)، ورقم (٦,٥). قم بعمل تقييم نسبي للبدائل وقم باختيار الأفضل باستخدام مجموعتين من الأهمية المشار إليه في الجدول رقم (٦,٣).

العواقب المترتبة على الفشل تتضمن تكلفة الخسارة للمخازن والمنشآت الناتجة عن قصور إنشائي مثل (شرخ في سد أو جدار أو خزان تخزين ماء). التأثير الاجتماعي يتضمن التوزيع للمجتمعات، نقل المساكن، المدارس، المستشفيات ومنشآت اجتماعية أخرى.

الحل:

معيار التحقيق لعوامل التقييم الملموسة المحدد في جلسات تقييم العمل موضح في الجدول رقم (٦,٤).

ومعيار النتيجة للإنشاء وعوامل أخرى غير ملموسة مدرج في الجدول رقم (٦,٥).

الأهداف الناتجة لكل بديل لكل عوامل التقييم التسعة موضحه في الجدول رقم (٦,٦).

متوسط نتيجة الأهمية للبديل رقم ١ هي:

$$9\times0.2 + 3.5\times0.2 + 9\times0.2 + 9\times0.1 + 9\times0.05 + 7\times0.05 + 9\times0.1 + 9\times0.1 = 7.8$$

اتباعاً لنفس الأسلوب متوسط نتيجة الأهمية للتسع بدائل موضحة في الجدول رقم (٦,٧).

في هذه الحالة البديل الأقل تكلفة (البديل رقم ١) مشار إليه أنه الخيار المفضل.

إذا كانت الفوائد الاقتصادية للمشروع تعطى أهمية عالية، كما هو مشار إليها بالبديل الأهم في الجدول رقم (٦,٣)، ثم النتائج المهمة ستكون كما هي موضحة في الجدول رقم (٦,٨). في هذه الحالة البديل الأعلى يتحول ليكون الاختيار الأفضل.

openikandil.com

وهذا يوضح أن هذه الطريقة تأخذ في الاعتبار أنها عوامل موضوعية وأن متخذي القرارات قد يتوجب عليهم الأخذ بالاعتبار في اختيار النطاق المفضل للعمل.

الجدول رقم (٣،٦). وصف البدائل والأهمية لمعيار التقييم.

البديل	دفعه سنوية (مليون دولار)			غير ملموسين				
					التأثير			
	التكلفة	الفوائد	عواقب الفشل	الإنشاء	علم البيئة	جودة المياه	الاجتماعي	مستخدمين آخرين
١	١,٠	١,٠٥	١,١	سهل	تقريباً لا شيء	الأقل	تقريباً لا شيء	تقريباً لا شيء
٢	١,٢	١,٢٢	١,٦	سهل	معتدل	معتدل	الأقل	الأقل
٣	١,٤	١,٣٥	٢,١	سهل	معتدل	معتد	الأقل	الأقل
٤	١,٦	١,٥٢	٢,٦	معتدل	معتدل	الأقل	معتدل	معتدل
٥	١,٩	١,٦٠	٣,١	معتدل	الأقل	الأقل	معتدل	معتدل
٦	٢,٢	١,٧٥	٣,٥	صعب	الأقل	الأقل	معتدل	معتدل
٧	٢,٦	٢,٠	٤,٠	صعب	معتدل	مهم	مهم	مهم
٨	٣,٣	٢,٤	٤,٦	صعب جداً	مهم	مهم	مهم	مهم
٩	٤,٣	٣,٠	٤,٧	صعب جداً	مهم	الأقل	مهم	مهم
Wt.	٠,٢	٠,٢	٠,٢	٠,١٠	٠,٠٥	٠,٠٥	٠,١	٠,١
Alt. Wt.	٠,٠٥	٠,٥	٠,٠٥	٠,٠٨	٠,٠٨	٠,٠٨	٠,٠٨	٠,٠٨

Wt. = الأهمية محدده لعامل التقييم

Alt. Wt. = بديل الأهمية المحددة لعامل التقييم.

obeikandi.com

الجدول رقم (٦,٤). معيار النتيجة للعوامل الملموسة.

التكلفة (بالمليون دولار)	النتيجة	الفوائد (بالمليون دولار)	النتيجة	عواقب الفشل (بالمليون دولار)	النتيجة
٠,٥ – ١	٩	٠,٥ – ٠,٩٩	٣	١,٠ – ١,٤	٩
١,١ – ١,٢٥	٨	١,٠ – ١,١٩	٣,٥	١,٥ – ١,٩	٨
١,٣ – ١,٥	٧	١,٢ – ١,٢٩	٤	٢,٠ – ٢,٤	٧
١,١ – ١,٧٥	٦	١,٣ – ١,٤٩	٤,٥	٢,٥ – ٢,٩	٦
١,٨ – ٢,٠	٥	١,٥ – ١,٧	٥	٣,٠ – ٣,٢	٥
٢,١ – ٢,٤	٤,٥	١,٧١ – ١,٨	٦	٣,٣ – ٣,٨	٤,٥
٢,٥ – ٣,٠	٤,٠	١,٨١ – ٢,١	٧	٣,٩ – ٤,٤	٤,٠
٣,١ – ٤,٠	٣,٥	٢,١٥ – ٢,٥	٨	٤,٥ – ٥,٠	٣,٥
٤,٠ <	٣	٢,٥ <	٩	٥,٠ <	٣

الجدول رقم (٦,٥). معيار النتيجة للعوامل غير الملموسة.

الإنشاء		غير ملموسة أخرى	
قيمه العامل	النتيجة	قيمه العامل	النتيجة
سهل	٩	تقريباً لا شيء	٩
معتدل	٦	الأقل	٧
صعب	٥	معتدل	٥
صعب جداً	٤	مهم	٤

obeikandl.com

الجدول رقم (٦,٦). تقييم المصفوفة.

البديل	عوامل التقييم								الأهمية
	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	
١	٩	٣,٥	٩	٩	٩	٧	٩	٩	٠,٢
٢	٨	٤	٨	٩	٥	٥	٧	٧	٠,٢
٣	٧	٤,٥	٧	٩	٥	٥	٧	٧	٠,٢
٤	٦	٥	٦	٦	٥	٧	٥	٥	٠,١
٥	٥	٥	٥	٦	٧	٧	٥	٥	٠,٠٥
٦	٤,٥	٦	٤,٥	٥	٧	٧	٥	٥	٠,٠٥
٧	٤	٧	٤	٥	٥	٤	٤	٤	٠,١
٨	٣,٥	٨	٣,٥	٤	٤	٤	٤	٤	٠,١
٩	٣	٩	٣,٥	٤	٤	٧	٤	٤	

الجدول رقم (٦,٧). نتيجة متوسط الأهمية الحالة ١.

البديل	نتيجة متوسط الأهمية
١	٧,٨
٢	٦,٨
٣	٦,٥
٤	٥,٦
٥	٥,٣
٦	٥,٢
٧	٤,٧٥
٨	٤,٦
٩	٤,٨٥

Obeikandi.com

الجدول رقم (٦,٨). تعاقب نتيجة متوسط الأهمية الحالة ٢.

البـــديـل	نتيجة متوسط الأهمية
١	٦,٠٩
٢	٥,٤٤
٣	٥,٥٩
٤	٥,٣٤
٥	٥,٤
٦	٥,٧٧
٧	٥,٦٦
٨	٥,٩٥
٩	٦,٦٦٥

obeikandl.com

المواضيع البيئية ومراقبتها

ENVIRONMENTAL ISSUES AND MONITORING

مقدمة Introduction

المياه مصدر طبيعي ضروري لاستمرار الحياة. وهو يستنفذ باستمرار ويعاد التزود به من خلال الدورة الهيدرولوجية. ومع هذا، هناك عدد كبير من الاستخدامات التنافسية تجعل من تخصيص المياه بشكل منصف للاستخدامات المختلفة أمراً بالغ الصعوبة. وإن تحديد مصادر المياه لواحد أو أكثر من الاستخدامات المختارة يؤثر على إتاحته لاستخدامات أخرى محتملة. وأحد أنواع الاستخدام الذي يمكن أن يعد استهلاكياً في أحد الأشكال يمكن أن يعد غير استهلاكي ضمن إطار العمل المجمل للدورة الهيدرولوجية. فعلى سبيل المثال، المياه التي تحول للاستخدام في الري يمكن أن تعد استهلاكية مادامت مصادر المياه السطحية في نظام المخزون قد تأثرت لأن هذه المياه لن تكون متاحة بسهولة للاستخدامات الأخرى ضمن بيئة محلية بعينها. ومع هذا، فإن كمية المياه المتحولة التي تُفقد بالرشح تعود للظهور كسريان في هيئة مختلفة من المياه يمكن أن تكوّن استخداماً غير استهلاكياً بمعنى الاتزان الكلي للمياه في الطبيعة. وإن عدم إتاحة المياه بالكمية والجودة المطلوبة للاستخدام غير تلك التي تم

obeikandl.com

تحديدها لأجلها تحت مشروع هندسة مصادر المياه تشكل آثاراً على خصائص بيئية أخرى.

ولضمان الاستخدام الأمثل والمنصف لكمية وجودة المياه المتاحة في إقليم ما، فمن الضروري تقييم كل الآثار البيئية المفيدة محتملة الحدوث والآثار البيئية غير المواتية لمشروع هندسة مصادر المياه. ويشمل مصطلح "البيئة" كل من البيئة الطبيعية والفيزيائية وعلاقة الناس بتلك البيئة (مثل، الأرض، ونظام المياه الجوفية- المياه السطحية، والهواء، والنظام البيئي، والكائنات الحية، وسمات الآثار، والصناعات التاريخية، والوحدات الثقافية، والاجتماعية، والاقتصادية، والسياسية، والقيم الجيولوجية والبيئية في الموقع). ويمكن أن يؤدى إعادة توزيع مصادر المياه بين الأنواع المختلفة من الاستخدامات في الماضي والحاضر والمستقبل التي تلي تحديد مشروع هندسة مصادر المياه إلى النزاع بين المصالح المتنافسة. وأحدى الطرق التي يمكن تطبيقها لحل أو للحد من هذه النزاعات هي إعداد تقييم بيئي (EA) أو بيان الأثر البيئي (EIS) قبل اتخاذ القرار. والأثر هو تغيير أو عاقبة، يمكن أن تكون إيجابية أو سلبية، تنتج عن المشروع.

في الولايات المتحدة، يتم التحكم في تقييم الآثار البيئية للسدود ومشروعات مصادر المياه الأخرى عن طريق التالي:

- تعديل بيان السياسة البيئية القومي (NEPA) لعام ١٩٦٩، (Public Law 91-190, 42 U.S.C. 4321 et seq.).
- تعديل بيان تحسين جودة البيئة لعام ١٩٧٠، (42U.S.C. 4371 et seq.).
- تعديل القرار التنفيذي ١١٥١٤، بعنوان حماية وتحسين جودة البيئة (٥ مارس ١٩٧٠، بالقرار التنفيذي ١١٩٩١، ٢٤ مايو ١٩٧٧).

يعمل بيان السياسة البيئية القومي (NEPA) على تقرير السياسة ووضع الأهداف وتقديم الوسائل لتنفيذ هذه السياسة ويحتوى على تدبيرات احتياطية لضمان أن تعمل الوكالات الفيدرالية وفقاً لنص وروح البيان. وتضمن إجراءات بيان السياسة البيئية القومي إتاحة البيانات البيئية حول المشروع لعامة المسئولين والمواطنين قبل أن يتم اتخاذ القرارات وقبل القيام بالتنفيذ. ومن الضروري لتنفيذ بيان السياسة البيئية القومي وجود تحليل علمي دقيق، وتعليقات من وكالة خبيرة، والأمن العام. وتكون الوكالات الفيدرالية مسئولة عن التالي:

- تفسير وإدارة السياسات والتنظيمات والقوانين العامة المتعلقة ببيان السياسة البيئية القومي.
- تنفيذ الإجراءات لجعل عمل بيان السياسة البيئية القومي أكثر نفعاً لمتخذي القرارات وللعامة.
- التشديد على المشاكل البيئية والبدائل.
- دمج متطلبات بيان السياسة البيئية القومي مع إجراءات العرض البيئي والتخطيط الأخرى.
- تشجيع وتسهيل المشاركة العامة في القرارات التي تؤثر على جودة بيئة الإنسان.
- استخدام بيان السياسة البيئية القومي لتحديد عمل وتقييم البدائل المعقولة للأعمال المقترحة.
- استخدام كل الوسائل العملية لاستعادة وتحسين جودة بيئة الإنسان ولتجنب أو لتقليل التأثيرات غير المواتية الممكنة على جودة بيئة الإنسان (CFR 40, Part 1500).

يشمل مصطلح "الآثار البيئية" كل الآثار النافعة أو غير المواتية أو التغييرات في النظام الهيدرولوجي الذي ينسب إلى الإنشاء، أو التعديل، أو تشغيل السد، أو تحويل السريان، أو تنفيذ أنشطة هندسة مصادر مائية أخرى. ويمكن أن تكون الآثار بنائية، أو غير بنائية، أو متعلقة بالنظام البيئي، أو جمالية، أو أثرية، أو متعلقة بالمياه والترسبات والتربة، أو اقتصادية (متعلقة بالتجارة)، أو متعلقة بتدفق المجرى المائي وجودة المياه، أو جيومورفية (خاصة بمظاهر السطح)، أو اجتماعية اقتصادية، أو ثقافية وإبداعية. ويجب إعداد بيان الأثر البيئي EISs باستخدام منهج الانضباط المتبادل الذي يضمن الاستخدام المتكامل للعلوم الطبيعية والاجتماعية وفنون التصميم البيئية. وبالإضافة إلى ذلك قامت العديد من الولايات بتحديد خطوط إرشادية أو قوانين لإعداد بيان الأثر البيئي EISs للسدود ومتطلبات التصريح البيئي لمشروعات هندسة مصادر المياه الأخرى في نطاق سلطتها القضائية.

وقد تم تقرير خطوط إرشادية وقوانين مثيلة من قبل البنك الدولي ومنظمات أخرى تقدم المساعدة في مجال إنشاء وتشغيل مشرعات هندسة مصادر المياه. وبالإضافة إلى ذلك، قامت كثير من الدول بتحديد الخطوط الإرشادية الخاصة بها لإعداد تقرير الأثر البيئي EIR أو بيان الأثر البيئي EIS لمشروعات هندسة مصادر المياه.

ففي بعض الدول، بما فيها الولايات المتحدة، تم تقرير نظام لحقوق المياه لتسهيل توزيع واستخدام المياه الجوفية والمياه السطحية. وهناك نوعان من حقوق المياه: الشاطئية والمخصصة. وسحب المياه من المجاري المائية يتم التحكم فيه عن طريق حقوق المياه الشاطئية أو المخصصة التي تدار بشكل عام عن طريق وكالات الدولة. وضمن الحقوق المخصصة يخوّل لمالك الأرض المجاورة للمجرى المائي أن

ينتفع بشكل مفيد ومعقول من التدفق الطبيعي للمجرى المائي بدون تغيير في الجودة أو الكمية. ويمكن لمالكي حقوق المياه المخصصة عند منبع التدفق أن يعملوا بشكل كبير على زيادة أو تقليل التدفق الطبيعي لإيذاء مالك حقوق المياه في اتجاه سير التدفق حتى المصب. وتقرر حقوق المياه المخصصة الكميات والأولويات لسحب المياه للاستخدام النافع من قبل كل مالك لحق المياه، ويفرض أن الكميات المتاحة كافية بعد تلبية طلبات حقوق المياه الأعلى مرتبة. وهي تقوم على مفهوم أن الأول في الوقت هو الأول في الحق. ويمكن أن تتحول حقوق المياه من أحد الهيئات أو أحد الملاك إلى أخر. وكذلك يمكن أن تتحول نقاط سحب المياه من أحد المواقع إلى أخر باستخدام الإجراءات القانونية والإدارية. وعندما يكون الماء المتاح قليلاً، فإن مالك حقوق المياه الأعلى مرتبة يمكن أن يستخدم حصته أو حصتها الكاملة، بينما يجب على مالكي حقوق المياه الأقل مرتبة العيش بنقص في المياه. وإن مشروعات هندسة مصادر المياه، التي يمكن أن تمثل خطراً على حقوق المياه الأعلى مرتبة، لا يصرح لها بدون تعويض مناسب. وقد تم تقرير حقوق المياه المخصصة في معظم الولايات الغربية بالولايات المتحدة. وتعد المياه الجوفية في كثير من الحالات، رافد للمياه السطحية التي تتصل بها هيدروليكياً.

بيان الأثر البيئي
Environmental Impact Statement

تعريف وصياغة بيان الأثر البيئي Definition and Format of an FIS

بيان الأثر البيئي EIS هو وثيقة تصف الأثر الذي سوف ينتج من تنفيذ مشروع ما مقترح على البيئة. وهي أيضاً تصف أثار المشروعات المتخيلة التي يمكن أن تكون بدائل للمشروع المقترح، وكذلك تخطط لتخفيف هذا الأثر. ويعنى التخفيف تقليل أو

إزالة الآثار السلبية. "لا تنفيذ" يعامل أيضاً على أنه بديل للمشروع المقترح. وبمجرد أن تخضع خطة المشروع إلى وكالة منظمة، تقوم الوكالة بإعداد تقييم بيئي EA، التي تقيم ما إذا كان المشروع المقترح له آثار بيئية مهمة وما إذا كان هناك حاجة لبيان الأثر البيئي EIS. وإذا كان التقييم البيئي يحدد أنه ليس هناك حاجة لبيان الأثر البيئي، تصدر الوكالة نتيجة بعدم وجود أثر ذو أهمية والذي يشرح باختصار لماذا لن يكون لهذا العمل أثاراً مهمة على البيئة. واعتماداً على الحجم، والوضع، والحساسية، والتفاصيل الخاصة بالمشروع المقترح، يمكن أن يكون من المطلوب عمل بيان الأثر البيئي EIS، أو يمكن أن يكون من المطلوب عمل التقييم البيئي EA وليس بيان الأثر البيئي EIS، أو يمكن ألا يكون هناك حاجة لأي منهما.

تشمل وثيقة بيان الأثر البيئي EIS النموذجية المكونات التالية:

١- صفحة الغلاف، التي تشمل عنوان العمل، وموقعه، وتحديد دلالة بيان الأثر البيئي (نهائي أم مسودة)، والوكالة الفيدرالية المسئولة والوكالات المتعاونة، جهة الاتصال بالوكالة، بالاسم، والعنوان، ورقم الهاتف، وموعد استحقاق التعليقات على بيان الأثر البيئي، وملخص من فقرة واحدة.

٢- الملخص (لا يزيد عن حوالي ١٨ صفحة)، ويشمل موجز عن العمل المقترح والبدائل والخلاصة ونقاط الخلاف والمشاكل الهامة التي يراد تسويتها.

٣- جدول بالمحتويات، ويشتمل على العناوين الرئيسة والفرعية والأشكال والجداول والاختصارات والرموز العلمية أو غيرها المستخدمة فيه.

٤- الأقسام التي تصف التالي:

• الغرض والحاجة إلى العمل.

• البدائل، بما فيها العمل المقترح والعمل الغير مقترح، والبدائل غير المدروسة بدقة، والعواقب البيئية للبدائل في شكل مقارنة، ومقاييس التخفيف.

• وصف البيئة المتأثرة.

• العواقب البيئية، بما فيها الآثار المباشرة ومغزاها، والآثار غير المباشرة ومغزاها، والنزاع مع اتحاد، أو ولاية، أو أحد القبائل الأمريكية الأخرى، ومتطلبات الطاقة واحتمالات الوقاية، ومتطلبات الموارد الطبيعية أو المستنفذة واحتمال المحافظة، والآثار على الموارد التاريخية والثقافية، ومقاييس التخفيف.

٥- قائمة بالكتّاب، تتضمن الأسماء والمؤهلات.

٦- قائمة التوزيع، التي تشمل التعريف بالوكالات التي يتم طلب التعليق الرسمي منها، والتعريف بالمسئولين والمنظمات التي يُلتمس منها التعليق، وهؤلاء الذين قاموا بطلب نسخ من بيان الأثر البيئي (رغم أن التعريف بالمواطنين ليس ضرورياً)، وموقع وصول العامة للنسخ.

٧- فهرس بالموضوعات البيئية.

٨- ملحق يحتوى على مواد تم إعدادها لدعم بيان الأثر البيئي، والتحليل لدعم الآثار والحسابات التحليلية المتعلقة بالقرار.

محتوى بيان الأثر البيئي Content of an EIS

بيان الأثر البيئي الخاص بمشروع هندسة مصادر المياه يقدم البيانات التالية:

• وصف العمل المقترح، بتفصيل كاف ليسمح بالتقييم الدقيق للآثار البيئية.

• مناقشة الآثار المحتملة على البيئة النهرية والبشرية ووسائل تخفيف الآثار البيئية المعاكسة.

• التعريف بالآثار البيئية المعاكسة التي لا يمكن تجنبها.

obeikandl.com

• البدائل التي يمكن أن تساعد على تجنب بعض أو كل الآثار البيئية المعاكسة، بما فيها تحليلات التكاليف والآثار البيئية لهذه البدائل.

• تقييم الآثار التراكمية طويلة المدى، بما فيها علاقتها بالاستخدام قصير المدى للبيئة النهرية مقابل الإنتاجية طويلة المدى الخاصة بالبيئة.

• أي التزام غير قابل للعكس أو لا يمكن تعويضه للموارد التي يمكن أن تنتج أو التي يمكن أن تقلص من الاستخدام النافع للبيئة النهرية ومصادر المياه.

• المناقشات، أو الاعتراضات، أو الملاحظات من قبل الوكالات الفيدرالية أو المحلية أو وكالات الولاية، والمنظمات الخاصة، والأفراد وكيفية الاهتمام بها.

بيان الأثر البيئي يوثق التالي أيضاً:

• مقاييس جودة المياه التي يمكن تطبيقها وتصنيف أنواع المجاري المائية.

• الاهتمام بقيم التدفق الأدنى المقترح بها.

• طرق حماية وتحسين جودة المياه.

• التأثير على جودة المياه.

• التأثير على الأسماك والحياة البرية والموارد النباتية، بما فيها أنواع الكائنات الحية المهددة والمعرضة للخطر، وطريقة تخفيف التأثير على هذه الموارد.

• التعريف بالمواقع التاريخية والأثرية المتأثرة التي يكون هناك رغبة لاحتوائها في السجل القومي للأماكن التاريخية.

• طريقة تحسين أو خلق فرص ترفيهية.

• التأثير على المناطق الرطبة والأراضي المستخدمة وطرق تخفيف تلك الآثار.

• تنفيذ أو وضع جدول لأي طريقة مقترحة، بما فيها مصادر التمويل للقيام بالتنفيذ.

إن بيان الأثر البيئي أو تقرير الأثر البيئي الخاص بالموقع ومستوى التفاصيل الذي يقدمه يجب أن يكون متناسباً مع تعقيد الأثر البيئي المحتمل. ويشمل بيان الأثر البيئي أو تقرير الأثر البيئي بيانات/ تعهدات تتعلق ببرامج المراقبة أثناء الإنشاء والتشغيل، والحلول البيئية، والبحث والتطوير، وتجديد الطرق التي سوف تعامل كروتين أو كحاجات تظهر للوجود. وهي توثق إمدادات المراقبة السابقة واللاحقة للآثار البيئية المهمة الخاصة بالمشروع، بما فيها برامج مراقبة التغييرات في المرحلة التشغيلية وطرق تحري وتعديل مستوى الضوضاء، ومراقبة جودة الماء والهواء، وعمل بيان مفصل بالأنواع الرئيسة في السلسلة الغذائية، وتحري التغييرات المستحثة في المناخ. وبالإضافة لذلك، يحدد بيان الأثر البيئي أو تقرير الأثر البيئي القوانين الفيدرالية والمحلية والإقليمية وقوانين الولاية والمدونات التي يجب أن تتوافق مع إنشاء وصيانة وتشغيل المشروع.

وفي حالة مشروعات محددة أقل حساسية نسبياً أو مشروعات صغيرة نسبياً، يمكن أن يكون التقييم البيئي EA كافياً. وبشكل عام، يكون التقرير البيئي وثيقة أقل تفصيلاً عن بيان الأثر البيئي أو تقرير الأثر البيئي EIS.

الآثار البيئية لمشروعات هندسة مصادر المياه
Environmental Impacts of Water Resources Engineering Projects

الآثار البيئية للسدود Environmental Impacts of Dams

تشمل أثار السدود على البيئة التأثيرات على ألسنة القنوات الممتدة في اتجاه التيار أو مصدر المنبع للتيار من السد. ويمكن أن تشمل هذه التأثيرات بوجه خاص التأثير على جودة المياه، وعلم تشكل النهر، والفيضان، ومصايد الأسماك، وموارد

الحياة البحرية، والحياة البرية، والأنواع الحية المهددة والمعرضة للخطر والانقراض، والغطاء النباتي، والموارد الثقافية، واستصلاح الأراضي، والترفيه، والخصائص الجمالية والتاريخية والأثارية، والاقتصاديات الاجتماعية.

الآثار البيئية العامة على البيئات النهرية والتدفق من منبع السريان للسد أو الأبنية الهيدروليكية الأخرى التي يجب أن يتم تحليلها وتقييمها تشمل التالي (ASCE 1989; CFR 18, Chapter 1 and Part 380; Prakash 2002):

• تراكم المواد الراسخة ومجاري النهر المصفحة في اتجاه مصب السريان من السد التي يتسبب فيها الطرد الطيني المتعاقب للماء الصافي ونقص إعادة ترسيب المادة المتخمرة.

• حدوث ترسب حراري ثابت ومنخفض نسبياً (غائر) للماء المنطلق من مدخل خزان عميق.

• التراكم الغزير للطحالب الناتج عن الشفافية، والمغذيات، وعدم استقرار القاع، وغياب الرواسب الناعمة.

• النقص في تنوع الكائنات الحية في فصيلة اللافقاريات الكبيرة، التي يمكن أن ينسب لها النقص في اختلافات درجة حرارة الماء الضرورية لاكتمال أحداث تاريخ الحياة الهامة، كفقس البيض والنضج.

• تجمع اللافقاريات الكبيرة الزائد والتنوع القليل المرتبط بثبات التدفق أو الحمل العضوي من الخزان.

• التأثير على الأنواع المهددة بالانقراض أو المعرضة للخطر المذكورة من قبل الوكالات الفيدرالية والحكومية.

• التأثير على الحياة البرية والأنهار الخلابة المصنفة فيدرالياً.

• التأثير على مستويات المياه الجوفية في اتجاه مصب السريان للسد بسبب الرشح طويل المدى من تجمع المياه.

• التأثير على الأسماك المهاجرة بسبب انسداد الممر والتكيف الضعيف للأسماك مع الدرجات التي تعبرها الأسماك ومع الطرق السمكية.

• الآثار المتعلقة بالعجز في الأكسجين المذاب DO بسبب العمليات البيولوجية والكيميائية في الخزان الذي يستهلك الأكسجين.

• الآثار المتعلقة بالتركيز المذاب الأعلى من المعادن، مثل الحديد والمنجنيز، بسبب زيادة ذوبانها في البيئة التي ينخفض فيها الأكسجين المذاب.

• الآثار المتعلقة بالتشبع المفرط للماء المنطلق من الخزان، الذي يؤدى إلى مرض فقاعة الغاز في مجتمع الأسماك. وعندما يغمد الماء إلى عمق كبير في اتجاه تيار السد عند نهاية قناة التصريف، يقوم بحبس الهواء. والزيادة في العمق أثناء الغمد تسبب المزيد من الغازات المذابة أكثر مما يحدث عند السطح. وعندما يرتفع الماء المفرط في التشبع هذا من قاع الغمد إلى قرب سطح الماء في قناة اتجاه التيار، تبدأ الغازات في الخروج من المحلول، مسببة مرض فقاعة الغاز. ويكون الماء في الخزانات الأكثر عمقاً مشبعاً بالغازات المذابة. وعندما ينطلق هذا الماء من مدخل خزان عميق، يتعرض لكثير من الضغط المنخفض ودرجات الحرارة الأعلى في قناة اتجاه التيار حيث يمكن أن تبدأ الغازات في الخروج من المحلول، مسببة مرض فقاعة الغاز.

• تعديل نظام النهر بسبب التبديل في المنحنى المائي للتدفق الطبيعي، بما فيها التبديلات في السهول الفيضية، والأراضي الرطبة، والجزر، والحواجز الرملية، والآثار على الكثافة المائية المتعلقة بهذه الخواص.

• مساحة الاستيعاب الأكثر انخفاضاً لقناة اتجاه التيار لتصرفات الماء الفائض بسبب تحولات التدفق وتنظيم السد.

• المخاطرة المتزايدة للفيضان مع الخسارة المرافقة للحياة والممتلكات بسبب احتمال عطل (فشل) السد.

• الآثار المفيدة المتعلقة بالفوائد الرئيسة والثانوية ومن الدرجة الثالثة والفوائد الملموسة وغير الملموسة للسد المرتبطة بالبيئة في اتجاه التيار.

الآثار البيئية أو البيئة الهيدرولوجية عند منبع التدفق للسد أو أبنية هيدروليكية أخرى، والتي يجب أن يتم تقييمها تشمل التالي:

• المناطق الغارقة أو المغمورة بتجمعات المياه (مثل المرافق، والآثار التاريخية، والمواقع الدينية، والمقابر القديمة، والمزارع، وأي مواقع أخرى مذكورة أو محدد أنها مؤهلة للاحتواء في السجل القومي للأماكن التاريخية)، والتأثير على استصلاح الأراضي، والبيئة البرية، والغابات، والمعادن، والأنظمة البيئية الفريدة.

• الكثافة السكانية المتبدلة والتأثير على صحة الإنسان والأمن وعلى القيم الجمالية والثقافية ومعايير الحياة.

• مستويات الفيضان المتزايدة وتكرار الفيضان بسبب العرقلة الهيدروليكية في قناة النهر الناتجة عن السد.

• احتمال الانهيارات الأرضية وانجراف التربة على امتداد خط الساحل بالخزان.

• الآثار على الحياة النباتية والحيوانية في منطقة الخزان وقناة عكس اتجاه التيار.

• احتمال انخفاض جودة المياه بسبب التفاعل طويل المدى بين الرواسب المترسبة والماء المخزون في الخزان.

• الآثار النافعة المتعلقة بالفوائد الرئيسة والثانوية ومن الدرجة الثالثة والفوائد الملموسة وغير الملموسة للسد المرتبطة بالبيئة في منبع التيار.

الآثار البيئية لمشروعات هندسة مصادر المياه الأخرى

Environmental Impacts of Other Water Resources Engineering Projects

أنشطة هندسة مصادر المياه الأخرى التي تؤدي إلى أثار عكسية على البيئة تشمل تصرف المياه الملوثة من مصادر محددة ومصادر غير محددة. تصرفات المصادر المحددة التي تؤثر على البيئة تشمل مخلفات المياه الصحية، ومخلفات المياه الصناعية، وانسياب مياه العواصف من مناطق الإنشاء أو التعدين، والمباني الصناعية، والطرق، أماكن وقوف السيارات خلال المصاب الفردية. المصادر غير المحددة لتلوث المياه تشمل الانسياب من المناطق الزراعية والغابات.

من المعلوم أن المصادر غير المحددة، التي تشمل أساساً الانسياب الزراعي، تساهم في ثلثي ما يتعلق بآثار جودة المياه على البحيرات والخزانات (NRCS 1996; Ojima *et al.* 1999). وتحتوى تصرفات المصادر غير المحددة من المناطق الزراعية على الملوثات الناتجة من الأسمدة، ومبيدات الأعشاب، ومبيدات الحشرات، ومخلفات الماشية، والأملاح، والرواسب. ويؤدى هذا إلى زيادة درجة الملوحة، والحمل الغذائي الزائد، والتعكر الزائد، وامتلاء المجرى المائي بالغرين.

ومصدر مهم آخر من المصادر غير المحددة للآثار البيئية على جودة المياه السطحية هو الجريان السطحي عن طريق التدفق البري من تراكم مخلفات المناجم المهجورة والمناطق القديمة للتخلص من النفايات. وإن تسرب مياه الأمطار من مثل هذه المباني أو دخول أماكن عمل منجم مهجورة إلى تحت الأرض فتدخل بيئة المياه الجوفية على أنها مياه ملوثة (مثل، صرف منجم حمضي أو مياه تحتوى على مستويات

عالية من المواد الصلبة الذائبة)، والتي تصل في النهاية إلى المجرى المائي القريب. وهذا النوع من التأثير يمكن أن يتعلق بمناطق تعدين الفحم القديمة، أو مناجم النحاس أو مناجم معادن أخرى، ومناجم اليورانيوم. وفي أوقات معينة، تصبح بقايا مصنع اليورانيوم التي يتم التخلص منها في سهول الأنهار معرضة لتدفقات النهر وتتطلب معالجة. وإذا تم تصريف التدفق البري أو الرشح من مثل هذه المباني خلال واحد أو أكثر من مصاب الأنهار، فإنها يمكن أن تكوّن مصدر محدد لتلوث المجرى المائي.

أنواع شبيهة من الآثار تنتج عن الجريان السطحي والرشح من مباني صناعية قديمة مهجورة.

إن معالجة أو تخفيف الآثار الناتجة من الأنشطة التعدينية والصناعية السابقة تم التعهد بها من خلال برامج المعالجة التي تنفذ من قبل الوكالات الحكومية، والإجراءات التي تقوم بها الهيئات الفردية، والأطراف الرئيسية المسئولة المحددة من قبل الوكالات المنظمة. وفي الولايات المتحدة، يتم التحكم وتنظيم الآثار المتعلقة بالمناجم القائمة والجديدة عن طريق المكتب الفيدرالي لتعدين السطح بمناجم الفحم، والمفوضية الأمريكية للتنظيم النووي بمناجم اليورانيوم، والوكالات الفيدرالية ووكالات الدولة لحماية البيئة للمعادن الأخرى من خلال نظام للتصاريح، والقوانين، والتفتيشات. وهناك قوانين مثيلة تنفذ من قبل وكالات الحكومة في كثير من البلاد الأخرى.

أنشطة التعدين والأنشطة التطويرية الأخرى (بما فيها المدنية والصناعية) تتطلب تغيير موقع أو تحويل المجرى المائي لتعظيم استخلاص الخامات، أو لتقليل التدفق، أو للقيام بإنشاء المباني المجاورة. ولتغيير موقع المجرى المائي أثاراً سلبية على حياة الكائنات الحية بالمجرى المائي. وأحياناً ما تندمج الأماكن المنخفضة والتجاويف

في القناة المنقولة. ويمكن أن يؤدى هذا إلى نقص البيئة الطبيعية المائية المتحركة (المياه المتدفقة) وزيادة البيئة الطبيعية المائية الساكنة (الماء الراكد) في المجرى المائي.

وتؤدى عمليات التصنيع أيضاً إلى أثار متعلقة بجودة المياه على البيئة الهيدرولوجية. وإن الاستخدام الواسع للمداخن العالية وأنابيب المداخن ينبثق عنها غاز الوقود مع مادة محددة تحتوى على مكونات كيميائية مختلفة. وهذه الجزيئات يتم تجمعها على فروع الأشجار، والأغصان، ومنحدرات التل أو يتم الاحتفاظ بها عالقة في الغلاف الجوي. وعندما يمر هواءً رطباً بها، تكوّن أنوية صغيرة لتكثيف بخار الماء. وتذاب المواد الكيماوية في قطرات المياه وتصل إلى الأرض على شكل تساقط للمطر والبيئة الهيدرولوجية مع الجريان السطحي. وحيث أن القطرات الساقطة تكون ذات خاصية حمضية بشكل كبير، فإن هذه الظاهرة تعرف بالأمطار الحمضية.

وفي الولايات المتحدة، تحت بند ٣٠٣(د) من بيان المياه النقية لعام ١٩٧٢م، يجب على كل ولاية أن تحدد المياه التي لا يُتوقع أن تتوافق مع طرق جودة المياه المناسبة مع وجود مصادر مفردة وغير مفردة للتصريف. ثم يجب على هذه الولاية أن ترتب أولويات هذه المياه الضعيفة، آخذةً بعين الاعتبار شدة التلوث واستخدامات هذه المياه. وبعد وضع الأولويات، يجب أن تحدد أقصى أحمال يومية كلية (TMDLs) سوف تؤدي إلى أن يوافق كل منطقة مياه الطريقة المحيطة، معللة الاختلافات الموسمية وشاملة هامش السلامة (USEPA 1991b; Eheart *et al.* 1999). ولأجل تحديد أقصى أحمال يومية كلية، فإنه يجب الأخذ في الاعتبار كل من التركيز المستمر للمعايير (CCS) والتركيز الأقصى للمعايير (CMC). وتعرف الوكالة الأمريكية لحماية البيئة (EPA) التركيز المستمر للمعايير والتركيز الأقصى للمعاير، على الترتيب، على أنها متوسط تركيزات أربع أيام ومتوسط تركيزات ساعة واحدة للمادة الملوثة في المياه المحيطة التي

يجب ألا تتجاوز أكثر من مرة واحدة كل ثلاث سنوات في المتوسط. ولأن هناك اختلافات في التأثيرات السامة على الكائنات المائية، فإن هذين التركيزين يختلفان بناءً على المادة الملوثة موضع الاهتمام. ولترجمة هذه المعايير إلى حدود تصريح قائمة على جودة المياه، يتم استخدام نماذج توزيع حمل مخلفات مناسب لتحديد نهاية ونقل أي ملوثات تدخل منطقة المياه. وهذه النماذج تؤدي توزيعات حمل مخلفات تصريف متعددة لتصريفات المصادر المفردة تحت ظروف تدفق مجرى التصميم، والتي تؤخذ عادةً على أنها سبعة أيام، عشر سنوات من متوسط التدفق المنخفض (7Q10) للمجرى المائي. ويمكن افتراض أن أحمال المخلفات التي تساهم بها المصادر غير المفردة على أنها ثابتة عن المستويات الموجودة/ المحيطة.

عمليات سحب المياه من النهر لاستخدامات الري والبلدية والصناعية يمكن أن تؤدي إلى سعة تمثيلية أقل للقناة في اتجاه التدفق وإلى تقليل تدفقات المجرى المائي اللازمة للحفاظ على الكثافة المائية والنظام البيئي في الألسنة عند منبع التدفق.

التدفقات العائدة من المناطق الزراعية تدخل قنوات المجرى المائي عن طريق تدفق المياه الجوفية وجودة المياه النهرية المؤثرة. وبشكل عام، هذه التدفقات العائدة تساهم بتركيزات عالية من الأملاح، ومبيدات الحشرات، ومبيدات الأعشاب، والأسمدة في البيئة النهرية.

تقييم وتحليل الآثار Evaluation and Analysis of Impacts

في حالة تقييم الآثار البيئية لمشروعات هندسة مصادر المياه، يمكن أن تطلب الوكالات الفيدرالية والحكومية أنواعاً مختلفة من التحليلات، والنماذج الفيزيائية ونماذج الحاسب، والمراقبة الميدانية للمتغيرات المختلفة، والمسح الميداني للكائنات الحية

لظروف المشاريع السابقة واللاحقة في اتجاه مصب التدفق التيار ومنبع التدفق (TECQ 2002). ويكون من المطلوب عمل تحليلات إضافية ومراقبة لدراسة التعليقات التي تقدمها هيئات مختلفة أثناء جلسات الاستماع العامة المتعلقة بالتصديق على بيان الأثر البيئي أو تقرير الأثر البيئي.

إن تقييم ظروف فيضان المشروع السابقة واللاحقة في النهر في اتجاه مصب التدفق ومنبع التدفق للسد أو حاجز الفيضان يتطلب حسابات القطاع الجانبي لسطح مياه الفيضان للمنحنيات المائية لفيضان تصميم المشروع السابقة واللاحقة لألسنة قناة مصب التدفق ومنبع التدفق. وإن تقييم مخاطر الفيضان المتعلقة بعطل السدود أو حواجز الفيضان تتطلب تحليل تصدع السد لأسباب العطل المفترضة ظاهرياً وتحديد تفريغ الطوارئ وخطط التحذير للسدود التي تقع عند منبع التدفق للمناطق الآهلة (المزدحمة) وحواجز الفيضان المقترحة لحماية المناطق الآهلة.

إن تقييم مستويات المياه الجوفية للسد في منطقة منبع التدفق ربما يتطلب نماذج المياه الجوفية مع أو بدون الخزان. وهذه التحليلات يمكن أن تستخدم لتحديد ما إذا كان الرشح من السد سوف يؤدي إلى تشبع المياه والرطوبة الزائدة والملوحة وتكدس البعوض وحدوث الأمراض في مناطق السد في اتجاه مصب التدفق.

إن مراقبة جودة المياه والتحليلات يكونان مطلوبان بشكل عام لتقييم الآثار على الأكسجين المذاب DO، ودرجة الحرارة، ومتغيرات أخرى مهمة لألسنة نهر محدد ولتقييم الآثار على سعة الاستيعاب للنهر بعد إنشاء السد، وبناء المدخل، ومشروع تقسيم المياه، أو منشآت تصرف مياه العواصف.

ويمكن أن يؤدي انخفاض جودة المياه بسبب تفاعل رواسب المياه إلى الحجز أو إلى تعديلات أخرى في النظام الهيدرولوجي. وإن إنشاء السد أو أي مشروع آخر

لهندسة مصادر المياه يمكن أن يؤدي إلى الفقد في المصنوعات التاريخية، أو الدينية، أو ذات الأهمية الجوهرية. وغالباً يتم مناقشة مثل هذه الآثار في جلسات الاستماع العامة المتعلقة ببيان الأثر البيئي للمشروعات المقترحة ويجب الاهتمام بها.

ومن الضروري إجراء الدراسات التحليلية لتحديد متطلبات التدفق إلى المجرى المائي لأجل السعة الملاحية والترفيهية والتمثيلية والحياة السمكية والمائية في قناة اتجاه مصب التدفق للسد، أو بناء المدخل، أو مشروع تحويل المياه. ويتم استخدام عدد من الطرق التحليلية لتحديد متطلبات التدفق إلى المجرى المائي للأنواع المائية الحية المختلفة.

ومن المطلوب إجراء عمليات مسح ميداني لتحديد الكثافة المائية السابقة واللاحقة للمشروع والتنوع الحيوي في كل من اتجاه التدفق من المنبع إلى المصب لتدفق للسد، أو بناء المدخل، أو مشروع تحويل المياه ولتقييم الآثار المحتملة على النظام البيئي. وتكون عمليات المسح الميداني مطلوبة أيضاً لتحديد مواقع وأحجام الجزر والحواجز الرملية وتعرجات قناة النهر المتواجدة والكثافة النباتية والحيوانية الموجودة المدعمة بهذه الخواص. ومن الضروري إجراء الدراسات الجيومورفية (المتعلقة بمظاهر السطح من حيوانات ونباتات) لتحديد الآثار المحتملة لإنشاء وتشغيل المشروع على هذه الخواص والنظام البيئي الذي تدعمه. ومن المطلوب القيام بالمراقبة الميدانية لتحديد جودة مياه المشروع السابقة واللاحقة.

ومن المطلوب إجراء عمليات المسح الطوبوغرافي (التضاريسي) لتحديد المناطق، والمباني السكنية، والمرافق، والقيمة النقدية للملكية، التي يمكن أن تغرق أو تزال بعد إنشاء مشروع هندسة مصادر المياه. وإن تكلفة التعويض عن الآثار التي لا يمكن تجنبها، والتأمين ضد الأضرار أو الآثار غير المواتية، وتكاليف الاستبدال

للخواص المفقودة التي تنسب للمشروع تكون محتواة في حساب نسبة التكلفة-الربح الخاصة بالمشروع. وعندما يتم إعداد تحليل تكلفة-ربح، يجب أن تشمل تحليلات الآثار البيئية غير المحسوبة، والقيم، وأسباب الراحة. وإن الآثار التي لا يمكن حساب التعويض النقدي لها يجب أن يتم التعبير عنها بمصطلحات وصفية جيدة وملائمة بشكل كاف.

وطبقاً للخطوط الإرشادية التنظيمية الفيدرالية والخاصة بالولاية، يتم تقسيم السدود إلى أنواع مختلفة الحجم، بناءً على سعتها التخزينية وارتفاعاتها، وإلى أنواع خطر مختلفة، بناءً على احتمال الضرر على الحياة والملكية بسبب العُطل. ويتم تحديد معايير التصميم و/ أو الترميم المختلفة لاتحادات مختلفة من تصنيف الخطر والحجم (مثلاً، احتمال الخطر المنخفض، أو المهم، أو العالي مدمجاً مع حجم السد الصغير أو المتوسط أو الكبير) (NRC 1985). وفي حالة السدود التي لا تقوم أو لا يمكنها تلبية معايير تصميم محددة، أو حيث تكون عواقب عُطل السد أكثر شدة من تلك التي بدون عُطل، فقد تم تحديد طرق للقيام بتحليلات المخاطر ولتحديد العطل (ASCE 1988). وتكاليف التأمين ضد الخطر لهذه العواقب البيئية لعطل السد وغير المهيمن عليها الدولار، يمكن أن تحتوى في تحليل التكلفة-الربح للسد.

وفي الولايات المتحدة، يتزايد الإجماع على إزالة عدد من السدود حيث تعد أرباح الإزالة متجاوزة لأرباح التشغيل وصيانة المباني. وإن تحليل الآثار البيئية (بما فيها تحليل التكلفة-الربح)، ومثل هذه السدود أتضح أن حتى مع وجود ممرات الأسماك فإن هذه السدود قد أصبحت سبباً رئيساً لفناء الأسماك في النظام النهري. وللخزانات مجموعات مخصصة مغمورة وأراضي رطبة طبيعية، والتي كانت ضرورية في تدوير المياه، والمغذيات، والرواسب، والمواد العضوية، والكائنات المائية والأرضية

opeikandi.com

في النظام البيئي النهري. وإن المصادر الثقافية المهمة للسكان المحليين قد أغرقت أو أصبحت لا يمكن الوصول إليها أو مدفونة.

إن النقل الطبيعي للرواسب الخشنة في اتجاه التيار يساق عن طريق السدود، مما يجعل قناة المهبط غير مستخدمة أو غير ملائمة للأسماك. ويؤدي إنشاء السدود إلى قناة نهر منخفضة أو مدرجة على جانب المهبط. والانجراف لمادة قاع النهر يمكن أن تدّرج البيئة الطبيعية للأسماك التي تصعد من البحار إلى الأنهار لوضع البيض، وتسمح بالإنبات على جزر الحصى والسهول الفيضية، وتقلل من تعرج النهر الطبيعي، ومراحل الفيضان المنخفضة، وتقلص من تكون الجانب الأبطأ حركة من القناة، والأراضي الرطبة الدورية، والمناطق المخصصة. وكثير من أنواع الكائنات الحية تتطلب مياه بطيئة الحركة، أو إنبات مخصص، أو مصب نهر فعال لتضع الأسماك بيضها أو لتربيتها، والتي تتأثر كلها بإزالة نقل الرواسب الطبيعية. وتؤثر الخزانات على جودة المياه عن طريق العمل كبحيرات ساكنة أثناء الفيضانات، والانزلاقات الأرضية، أو أحداث أخرى، والتي سوف تنتج طبيعياً تدفقات من التعكر في اتجاه التيار. وبسبب الخزان، يصبح التعكر أثناء مثل هذه الأحداث أقل شدة لكن أطول دواماً. وهذه الآثار يجب أن تُقيم وفقاً للشروط الكمية والنوعية.

وفي الولايات المتحدة، يتم التقييم والتحكم في آثار تصريفات المصدر المفرد على البيئة الهيدرولوجية من خلال تصاريح النظام القومي لإزالة تصريف المواد الملوثة الذي يتم إصداره تحت بيان المياه النقية (33 U.S.C 1251). ويتم إصدار تصاريح النظام القومي لإزالة تصريف المواد الملوثة من قبل وكالة حماية البيئة للولايات المتحدة أو وكالات الولاية المسئولة عن حماية البيئة. وبشكل عام تشمل هذه التصاريح والقوانين تصرف المياه الفائضة، والمياه المتخلفة من الصناعة، وانسياب مياه العاصفة

من المناطق الصناعية والإنشائية. وأيضاً يتم التحكم في أثار تصريفات المواد المدرجة أو مواد الملء إلى مياه الولايات المتحدة الإقليمية من قبل هيئة مهندسي جيش الولايات المتحدة من خلال التصاريح التي تصدر تحت بند ٤٠٤ من بيان المياه النقية (33 U.S.C. 1344)، ومن تلك التصاريح الخاصة بالتصريفات من مناطق التعدين يتم التحكم فيها من قبل مكتب تعدين السطح، والمفوضية النووية التنظيمية بالولايات المتحدة، ووكالات فيدرالية ووكالات الولاية الأخرى.

ويتم تقدير أثار سحب المياه و دخول تدفقات العودة الزراعية على جودة مياه النهر عن طريق نماذج الجودة لهياكل مياه السطح، وتدفق المياه الجوفية، ومراقبة جودة المياه في اتجاه المصب ومن منبع التيار عند نقاط السحب وفي ألسنة المجرى المائي الذي يستقبل تدفقات العودة.

يتم تقييم الآثار الهيدرولوجية المتعلقة بالمصادر المفردة وغير المفردة للتلوث الناتج من المناجم المهجورة والمباني الصناعية عن طريق مراقبة جودة المياه لكل من المياه الجوفية والمياه السطحية، وجريان المياه السطحية ونماذج الانجراف، ونماذج جودة المياه السطحية، ونماذج تدفق ونقل المياه الجوفية.

ولتقييم جودة المياه أو الآثار الحرارية الناتجة عن تصريفات المصادر المفردة إلى المجرى المائي، يتم السماح بمناطق خلط معتادة لتقارن الطول والعرض وقطاع التدفق المحدد (تقريباً ٢٥ إلى ٣٣٪ من مساحة القطاع العرضي أو حجم التدفق) للنهر. ولا يمكن تطبيق مقاييس جودة المياه الطبيعية في مناطق الخلط. ويتم إجراء تحليلات التشتت لإيضاح عدم تأثر أكثر من قطاع محدد من النهر بمنطقة الخلط تحت حالة 7Q10 في النهر. ويتم دمج الرذاذات في تصميم المصب لتقليل حجم منطقة الخلط. وعادةً، لا تكون مناطق الخلط مسموحاً بها في المياه التي تحتوي على كائنات حية

حساسة (مثل، الأنواع المعرضة للخطر)، ومناطق وضع بيض الأسماك، وشواطئ الاستحمام، ومناطق شواطئ صيد السمك، ومنحدرات الوارق، ومناطق الوصول العامة الأخرى، ويجب أن تسمح بوجود منطقة مرور للأحياء المائية التي توافق فيها مقاييس جودة المياه.

المراقبة البيئية Environmental Monitoring

مقدمة Introduction

تشمل الالتزامات في بيان الأثر البيئي أو تقرير الأثر البيئي مشروع محدد يكوّن الأساس للإنشاء السابق ومتطلبات مراقبة التخفيف السابقة. وهذه الوثائق تحدد الآثار البيئية للمشروع والتي لا يمكن التخفيف منها وطرق التخفيف للآثار التي يمكن تخفيفها عن طريق الوسائل البنائية وغير البنائية، سوياً مع خطط المراقبة لتقييم الآثار التي لا يمكن تخفيفها وفاعلية طرق التخفيف للآثار التي يمكن تخفيفها. ويكون التصديق على بيان الأثر البيئي أو تقرير الأثر البيئي من قبل الوكالات المناسبة مطلوباً قبل تصاريح الإنشاء، أو عمليات التشغيل، أو قبل إصدار تراخيص المباني. وعادةً ما تكوّن هذه الوثائق جزءً من استمارة التصريح للمبنى.

إن تقرير الأثر البيئي أو بيان الأثر البيئي وثيقة عامة تصدق عليها الوكالات التنظيمية الملائمة بعد سلسلة من جلسات الاستماع العامة والمراجعات الفنية. والتزامات التخفيف والمراقبة لأثار بيئية محددة التي تشترط في هذه الوثائق تصبح ملزمة قانونياً وسياسياً على ملاك ومديري السدود والمباني الأخرى. وإن أداء طرق التخفيف وتقدم الآثار التي لا تقبل التخفيف للمشروع أثناء مرحلة التشغيل يتم التدقيق فيها بشكل روتيني من قبل الوكالات التنظيمية، أو العامة المتأثرة، أو المنظمات

غير الحكومية المختلفة (NGOs)، أو المجموعات البيئية. وغالباً ما يتم تقديم تقرير حول الآثار التي تم تخفيفها مسبقاً الإضافية المتحراة للمشروع (التي ليست محددة في بيان أثر البيئي أو تقرير الأثر البيئي) من قبل المجموعات المذكورة أعلاه في شكل عرائض أو ملاحظات أو اعتراضات. وبعد ما يكفي من التحليل والتقييم، يمكن أن تكوّن هذه الاعتراضات الأساس لمراقبة بيئية مشروعة وإضافية للمشروع.

ومن هنا، تكون متطلبات المراقبة البيئية سابقة التخفيف خاصة بالموقع، اعتماداً على الحساسية والأهمية البيئية لمتغير البيئة المتأثر (مثلاً، البيئة المائية، والإنبات، والمورفولوجيا، والهيدرولوجيا، وجودة المياه، والاقتصاديات الاجتماعية).

مكونات المراقبة البيئية Components of Environmental Monitoring

المكونات الرئيسة لخطة المراقبة البيئية تشمل مراقبة الأسماك والحياة البرية والبيئة الطبيعية وجودة المياه.

وتشمل مراقبة الأسماك والحياة البرية تكوين، ووفرة، وتوزيع، والبيئة الطبيعية للأنواع الحية من الأسماك واللافقاريات التي توجد عند القاع، واستخدام البيئة الطبيعية من قبل البرمائيات والزواحف.

وتشمل مراقبة البيئة الطبيعية المراقبة المائية والأرضية. وتشمل المراقبة المائية عمق المياه، وسرعة المياه، وحجم وتكوين الطبقات السفلية، وكمية البقايا الخشبية الكبيرة. وتشمل المراقبة الأرضية تكوين أنواع النبات للإنبات المخصص وإنبات السهل الفيضي والأراضي الرطبة، ومساحة سطح الأراضي الرطبة، والحجم والزمن، وعمق، ومساحة، وارتفاع الهضاب الرملية غير المنبتة، ومنسوب المياه الجوفية، والغطاء الأرضي للسهول الفيضية، ومظاهر السطح والفترات المائية الجيومورفولوجية.

وتشمل مراقبة جودة المياه متغيرات المجاري المائية المختلفة موضع الاهتمام في المنطقة، بما فيها الأكسجين المذاب، ودرجة الحرارة، والتعكر، والمغذيات لألسنة النهر، والخزانات، والبيئة الطبيعية للأراضي الرطبة.

متغيرات جودة المياه البيئية للمجاري المائية المختلفة في الولايات المتحدة يتم تسجيلها ونشرها من قبل هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية (USGS). ومصدر آخر لمعلومات جودة المياه بالمجرى المائي هو نظام التخزين والاستدعاء التي تحتفظ به USWPA. وتشمل متغيرات جودة المياه شائعة المراقبة لمواصلة النوع، ومستوى أيون الهيدروجين، ودرجة الحرارة، والتعكر، والأكسجين المذاب، ومسببات المغص الغائطي، والتكور العقدي الغائطي، والصلابة، والكالسيوم، والماغنسيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم، والخارصين، والباريوم، والكادميوم، والكوبلت، والنحاس، والحديد، والرصاص، والمنجنيز، والزئبق، والسيلينيوم، والفضة، والبيكربونات، والكربونات، والكبريتات، والكلوريد، والفلوريد، والسيليكا، والمواد الصلبة الكلية العالقة والمذابة، والنيتروجين، والفوسفور، والكربون العضوي، والفينيل الثنائي المعالج بالكلور المتعدد، والألدرين، وجزء الكلوردان، ومادة DDD، ومادة DDT، ومادة DDE، والإلدرين الثنائي، والأزينون الثنائي، والإندرين، والإزيون، والكلور السباعي، والليندان، والملاثيون، وكلور الميزوأوكسي، والميثيل نظير الثيون، والميثيل ثلاثي الثيون، ونظير الثيون، والتوكسافين، والثيون الثلاثي، والعوالق النباتية، والبريفيتون.

وفي حالة المشروعات التي تقع ضمن نطاق السلطة القضائية لهيئة مهندسي جيش الولايات المتحدة (USACE)، فقد تم تقرير سياسة لإجراء تقييمات الاستجابة البيئية بالنسبة لإمدادات المراقبة البيئية المشترطة في بيان الأثر البيئي (USACE 1999).

ويتم إجراء التقييمات الداخلية للاستجابة بالتزامات المراقبة البيئية سنوياً عن طريق موظفي المشروع/ المبنى. ويتم إجراء التقييمات الخارجية عن طريق مقاولين خارجيين أو موظفين غير معينين في المبنى. ويتم الاحتفاظ بسجلات إمدادات بيان الأثر البيئي أو التعديلات على بيان الأثر البيئي أو القرارات الأخرى التي تتعلق بتقارير التخفيف البيئية من قبل السلطة الملائمة. ويجب جعل إمدادات أخرى متاحة للوكالات المهتمة أو العامة، عند طلبهم لها. ويكون مطلوب تنفيذ المراقبة لضمان الالتزام بالقرارات والمراقبة البيئية، بما فيها مقاييس التخفيف.

بعض الوكالات قامت بتنفيذ برامج مراقبة بيئة محيطة (ALMPs) لوضع خصائص للتيارات في الظروف البيئية للبحيرات، ولتحديد مسببات التدرج البيئي، ولمراقبة تقدم برامج الترميم، ولتحديث تصنيف البحيرات/ نظام الأولويات بالنسبة لجودة وترميم البيئة. ويتضمن هذا جمع وتحليل جودة المياه وعينات الرواسب وكذلك الملاحظات الميدانية للون المياه، والطقس، وتحلل الرواسب، والطحالب، وأوجه أخرى مهمة للبحيرة. ويتم إجراء مراقبة التيار المحيط لتحديد التيارات طويلة المدى في جودة المياه ولتقييم برامج الترميم. ولهذا الغرض يتم مراقبة البحيرات مرة واحدة أثناء انسياب الربيع ومرحلة التحول (إبريل إلى مايو)، وثلاث مرات أثناء الصيف (يونيو ويوليو وأغسطس)، ومرة واحدة أثناء تحول الخريف (سبتمبر أو أكتوبر). والمتغيرات المحللة تشمل المواد الصلبة العالقة، والمغذيات، والكلوروفيل، والأكسجين المذاب، والقطاعات الجانبية لدرجات الحرارة، ومتغيرات ميدانية أخرى لعينات المياه التي تجمع من مسافة ١ قدم أسفل السطح و ٢ قدم فوق القاع عند أكثر المواقع عمقاً. ويتم إجراء المراقبة المركزة للبحيرة في بعض البحيرات. ويتم اختيار البحيرات من خلال مرحلة أولى (تشخيصية)، ومرحلة ثانية (تقييم)، ومرحلة ثالثة

(تقييم ترميم لاحق) للمراقبة المركزة. بالنسبة للمرحلة الأولى والثانية، يتم إجراء المراقبة بشكل عام مرتين كل شهر من مايو إلى سبتمبر وشهرياً من أكتوبر إلى إبريل لفترة سنة واحدة قبل التنفيذ (مرحلة أولى) ولسنة واحدة أو أكثر أثناء وبعد التنفيذ (مرحلة ثانية). وتتكون مراقبة المرحلة الثالثة عادةً من ثلاث سنوات بأخذ العينات من مسافة ١ قدم أسفل السطح، وعمق متوسط (في أعمق البحيرات)، و ٢ قدم فوق القاع عند أكثر المواقع عمقاً. وتشمل المتغيرات التي تراقب المواد الصلبة العالقة، والمغذيات، والكلوروفيل، والأكسجين المذاب، والقطاعات الجانبية لدرجات الحرارة، والموارد البيولوجية الرئيسية (مثل، النباتات العالقة، والأسماك، الإنبات المائي، وأحياناً الحيوانات العالقة، والأحياء في القاع). ويتم تحليل عينات الرواسب للمحتوى الصلب، والمغذيات، والكائنات الدائمة، والمعادن الثقيلة في الفترة التشخيصية الأولية. بالإضافة، يتم إجراء تحليلات ملوثات الأسماك أثناء هذه المرحلة الأولية.

بالنسبة للسدود ومشروعات المياه الدولية الأخرى، يطلب البنك الدولي التقييم البيئي أو بيان الأثر البيئي، والتي تعد وثائق عامة تفصح عن الآثار التي لا يمكن تخفيفها والمتعلقة بخطط المراقبة التي يجب أن يقوم بالتحري عنها فريق عمل البنك وآخرين في جلسات الاستماع العامة. والتزامات المراقبة البيئية التي تشترط في هذه الوثائق تكون ملزمة للمالك أو مديري السدود والمباني المتعلقة بها. ويجب أن يشمل وصف برامج المراقبة البيئية أسباب وتكاليف المراقبة والترتيبات التأسيسية للمراقبة، ونتائج المراقبة أثناء التقييم، وبدء الإجراء الضروري لتقييد الآثار العكسية التي تكشف عنها المراقبة. ومن الإلزام أن يكون هناك مؤسسة لمراقبة الاستجابة ولتأسيس الإجراء المعزز متى وأينما كان هناك حاجة له.

وقد قام البنك الدولي WB بتحديد الخطوط الإرشادية لتصميم وتنفيذ مراقبة وتقييم المشروعات التي تقوم بتمويلها هيئة البيئة العالمية (WB 1996). ويجب أن تشمل المشروعات التي يقوم بتمويلها البنك الدولي خطط المراقبة والتقييم (M&E)، ويجب أن تشمل المشروعات التي تنصب على التدرج البيئي مؤشرات الأداء البيئي (EPIs)، ومؤشرات أداء الاقتصاديات الاجتماعية (SEIs) في خطط المراقبة والتقييم الخاصة بها. واختيار مؤشرات الأداء البيئي أمر يخص المشروع. وبشكل عام يجب أن يحدد مؤشر الأداء البيئي التالي:

• مؤشرات الضغط، التي تقيس القوى الضمنية التي تؤدي إلى الانحطاط البيئي.

• مؤشرات الحالة، التي تقيس جودة أو حالة البيئة للنظام البيئي المستهدف.

• مؤشرات الاستجابة، والتي تقيس الجهود المبذولة لتحسين بيئة معينة أو لتخفيف درجة انحطاطها.

• مؤشرات الاقتصاد الاجتماعي، التي تنصب على التأثير البشري على البيئة وكيف أن البيئة ستؤثر على صحة الإنسان، والسلامة والرفاهية، والأساس المتأصل للمجتمعات المحلية، والرفاهية الاقتصادية، والفرص التعليمية، والقيم الاجتماعية، والتقدير الذاتي.

بعض الأمثلة على مؤشرات الأداء البيئي موضحة في التالي:

• زيادة المغذيات الكيميائية التي تتضمن مراقبة النيتروجين، والفوسفور، وتركيزات مطلب الأكسجين الحيوي في الماء.

• التلوث السام، بما فيه مراقبة تركيز المعادن الثقيلة في الماء.

• مراقبة مطلب، وإمداد، وجودة مصادر المياه العذبة.

• مراقبة مناطق الغابات المتدهورة.

• مراقبة الكثافة السمكية.

العوامل الأخرى التي يتم مراقبتها لمشروع السد والخزان تشمل التالي (WB 1998):

• الحجم السنوي للرواسب المنقولة إلى الخزان.

• جودة المياه عند نقطة تصرف السد وعند نقاط مختلفة على طول النهر (بما فيها الملوحة، وتركيز أيون الهيدروجين، ودرجة الحرارة، ومعامل التوصيل الكهربائي، والتعكر، والأكسجين المذاب، والمواد الصلبة العالقة، والفوسفات، والنيترات).

• تكوّن كبريتيد الهيدروجين والميثان خلف السد.

• أخذ العينات من المياه العذبة للنباتات الدقيقة، والحيوانات الدقيقة، والأعشاب الضارة المائية، والكائنات في القاع.

• عمليات مسح وتقييم المصايد السمكية (بما فيها الأنواع الحية والكثافة) في الخزان والنهر.

• الأنواع الحية، والتوزيع، وأعداد الحياة البرية.

• التغييرات النباتية (بما فيها الغطاء، والأنواع الحية، والتكوين، ومعدلات النمو، والكتل الحيوية) في مجرى السريان المائي، ومنطقة سحب الخزان، ومناطق مصب النهر.

• الانجراف في مجرى السريان.

• الصحة العامة وناقلات الأمراض.

• هجرة الأفراد من وإلى خارج المكان.

• التغييرات في الأوضاع الاقتصادية والاجتماعية للكثافة المستقرة والناس الذين يبقون في حوض النهر.

عوامل مراقبة مثيلة يتم تحديدها لمشروعات تتضمن حماية الفيضان، وتحديد مجرى السريان، والري والصرف، والمصايد السمكية، وعلم الصناعة الزراعية، وإدارة الغابات الطبيعية وتحديد المزروعات، وإدارة الأراضي المهملة والماشية، والطرق الريفية.

ليس هناك برنامج مراقبة قياسي للمشروعات الكهرومائية. وإن التقييم البيئي أو بيان الأثر البيئي لهذه المشروعات يجب أن يشمل خطة المراقبة لهذه المتغيرات المنصوص عليها في القائمة الخاصة بمشروعات السد والخزان والمتعلقة بكل موقع بعينه (WB 1998).

مراقبة المشروع هي مسئولية فريق إدارة المشروع. المسئوليات التأسيسية لتقييم الأداء يختلف اعتماداً على تسمية التقييم:

١- التقييم الانتقالي (أثناء تنفيذ المشروع).

٢- التقييم النهائي (عند نهاية تنفيذ المشروع).

٣- تقييم التأثر (عدة سنوات بعد انتهاء المشروع) لقياس الآثار المباشرة وغير المباشرة.

تحديد وتنفيذ وتقييم خطة المراقبة والتقييم تتضمن التالي:

- التقييم الأولي للظروف البيئية والاقتصادية الاجتماعية المتواجدة والكيانات المؤسسية للإدارة والمراقبة والتقييم البيئي.
- تحديد المشاكل الرئيسة التي تسبب التدرج البيئي.
- تحديد مؤشرات مراقبة الأداء.
- تحديد إجراءات جمع البيانات، والطرق التحليلية، وصيانة معدات المراقبة، والتنسيق الإقليمي.

- تحديد المسئوليات المؤسسية ومصادر التمويل للتنفيذ.
- التقييم الدوري لأداء المشروع وكفاية خطة المراقبة للتقييم.

تقييم الأهمية البيئية للمشروعات

Evaluation of Environmental Significance of Projects

أهمية استدامة وتحسين البيئة الطبيعية للأسماك

Significance for Fish Habitat Sustainability and Enhancement

بعض العوامل المستخدمة لتقييم أهمية مشروعات هندسة مصادر المياه لاستدامة وتحسين البيئة الطبيعية للأسماك تشمل التالي (USDA 1977):

- مساحة منطقة المياه بالايكرات المتاحة لحركة الأسماك، ووضع البيض، والفقس.
- بيان ما إذا كان التدفق مستقر أم غير مستقر (متقطع) خلال السنة وما إذا كانت مستويات المياه تبقى ثابتة تقريباً أم متغيرة بشكل كبير من وقت لآخر.
- جودة المياه، بما فيها درجة الحرارة، وتركيز أيون الهيدروجين، والأكسجين المذاب، وثاني أكسيد الكربون المذاب، وتركيزات الكيماويات السامة على الأسماك والبشر.
- النسبة المئوية الذي يحتلها طول المجرى المائي الكلي، وتشمل التالي:
  - البرك: قطاعات مجرى مائي تكون أعمق وعادةً أوسع من الطبيعي مع تيار أبطأ تقديرياً من منبع النهر الفوري وألسنة المجرى المائي في اتجاه مصب التيار مع قاع مجرى يتكون من خليط من الطمي والرمل الخشن.
  - منحدرات نهرية: قطاعات مجرى مائي تحتوى على الحصى و/ أو الدبش الذي يضطرب فوقه سطح الماء، ويكون التيار سريعاً بما فيه الكفاية بحيث يبقى سطح الحصى والدبش خالياً بشكل معقول من الرمل والطمي.

○ المسطحات: قطاعات مجرى مائي مع تيارات بطيئة للغاية فتصنف على أنها منحدرات نهرية وضحلة للغاية لتصنف على أنها برك. وفي المسطحات، يتكون قاع المجرى المائي عادةً من الرمل أو المواد الأكثر نعومة، مع دبش خشن عرضي، أو الجلاميد، أو صخر الأديم.

○ الشلالات: قطاعات مجرى مائي بدون برك، تتكون أساساً من صخر الأديم مع قليل من الدبش، أو الحصى، أو من مواد أخرى مثل هذه المواد، بحيث أن التيار عادةً يكون أكثر سرعة منه في المنحدر النهري.

وبالنظر إلى موضوع البيئة الطبيعية للأسماك، فإن قطاع مجرى مائي به حوالي ٣٥٪ من المساحة تحتلها البرك و ٣٥٪ من المنحدرات النهرية يمكن أن يصنف على أنه ممتاز.

• مساحة أو طول مسطح الماء المتأثر بالظل بسبب النمو الخضري (مثل، الأشجار والشجيرات). وبشكل عام، المساحة أو الطول الأكبر من مسطح الماء تحت الظل يكون بيئة طبيعية أفضل للأسماك.

• تعكر سطح الماء. إذا كان يمكن رؤية القاع من مسطح الماء بشكل واضح خلال حوالي ١,٢ م من الماء أو أكثر، فيمكن أن يصنف مسطح الماء بالممتاز من وجهة نظر البيئة الطبيعية المائية.

أهمية الأنشطة الترفيهية Significance for Recreational Activities

بعض العوامل المستخدمة لتقييم صلاحية مشروعات هندسة مصادر المياه للأنشطة الترفيهية تشمل التالي (USDA 1977):

openlandscape.com

• القرب من مراكز الكثافة السكانية. المشروعات التي يمكن أن تقدم إمكانية للأنشطة الترفيهية على مدى نصف قطر حوالي ٨٠كم.

• الوصول. المشروعات أو قطاعات المجرى المائي ضمن ١,٥كم من طريق جوي كلي يمكن أن تكون جيدة للأنشطة الترفيهية.

• حجم منطقة المياه. يجب أن يكون حجم منطقة المياه كافياً لدعم الأنشطة الترفيهية العامة.

تقوم بعض العوامل التي تستخدم لتقييم الاحتمال الترفيهي لمشروع هندسة مصادر المياه على نوع النشاط الترفيهي. والأنشطة الترفيهية المتعلقة بمشروع هندسة مصادر المياه وعوامل تحديد صلاحية كل نشاط ترفيهي هي كما يلي:

• صيد السمك: العوامل التي تؤثر على صلاحية النشاط الترفيهي لصيد السمك تشمل وفرة الكثافة السمكية، وإمكانية الوصول، والمنظر الطبيعي، ووجود المنحدرات النهرية والبرك، وفوق كل هذا تنوع سطح الأرض.

• السباحة: العوامل البيئية المرغوبة للسباحة تشمل جودة جيدة للمياه، ومستوى تركيز أيون الهيدروجين pH بين ٦,٥ و ٨,٣، وعدد بكتريا الكوليفورم أقل من ٨٠٠، والماء النقي بتدفق أدنى ٢٤٥٠ ل/ اليوم لكل مغطس، وعمق مياه بحوالي ١,٥ م أو أكثر، وميل خط الساحل أقل من ١٠٪ ، ويفضل أن يكون من ٢ إلى ٤٪.

• الإبحار في الزوارق والقوارب: يجب أن يكون عمق الماء في مجاري إبحار القوارب على الأقل ٠,٦ م لقوارب التجديف وحوالي ١ م للقوارب التي لها محركات خارج سطحها. ويجب أن يكون العرض على الأقل ٢,٥ مرة من طول القوارب المسموح بها. وعمق المياه في مجاري إبحار الزوارق يمكن أن يكون بانخفاض ١٥سم للمجاري القصيرة و ٤٥سم للأجزاء الرئيسية. ويمكن أن يكون عرض المجرى

المائي على الأقل ١,٨ م. ويمكن أن يكون متوسط التدفق حوالي ٣ م٣/ ث، ورغم أن هذا يمكن أن يختلف تبعاً للعرض، والعمق، وميل المجرى المائي.

• النزهة والسير: الممرات الموجودة فوق الماء وجسور المشاة تحسن من استخدام منطقة المياه لأغراض التنزه والسير. ويجب أن تكون الطرق على امتداد منطقة المياه حوالي ١,٢٥ م في العرض مع ميول طولية مرغوبة أقل من ١٠٪.

التحري العلاجي ودراسات الجدوى
Remedial Investigation and Feasibility Studies (RI/FS)

التعريف والنطاق Definition and Scope

أدت الأنشطة الصناعية أثناء أوائل ومنتصف القرن العشرين إلى تلوث التربة والمياه الجوفية والمياه السطحية على أو في الجوار القريب في عدد من المواقع. ففي كثير من الحالات، سبب هذا تهديداً على صحة الإنسان بوجه خاص وعلى البيئة بشكل عام. ولدراسة المشاكل المتعلقة بمعالجة هذه المواقع الملوثة، سنّ الكونجرس الأمريكي بيان الاستجابة البيئية الشاملة، والتعويض، والاعتماد (CERCLA, 42 U.S.C. 9601, 1980) وبيان المحافظة على الموارد والمعافاة (RCRA, 42 U.S.C. 6921, 1976). ويتضمن التحري العلاجي كل التحقيقات الميدانية والدراسات التحليلية اللازمة لتحديد طبيعة ومدى التلوث الذي يجب معالجته. وتشكل دراسات الجدوى كل الدراسات المعملية والميدانية والمكتبية والتجارب اللازمة لتقييم جدوى البدائل المحتملة لإزالة أو تقليل التلوث المحدد إلى مستويات مقبولة. ويمكن أن يكون هدف التحري العلاجي هو تحديد المقاييس اللازمة لتحديد تلوث التربة، ومياه السطح، والمياه الجوفية لمستويات تلوث قصوى مقبولة، أو لتقييد التلوث لمستويات مقبولة قائمة على المخاطرة، أو لتحقيق حماية الموارد بالحالات

النقية. وقد تم تحديد مستويات التلوث المقبولة وأهداف التنظيف أو الأهداف لمعالجة التربة والمياه السطحية والمياه الجوفية تحت ظروف بيئية معينة عن طريق وكالة حماية البيئة للولايات المتحدة ومنظمات الولاية المسئولة عن الجودة البيئية. وهذه الوكالات قامت أيضاً بتحديد مستويات التلوث القصوى المقبولة لأنواع مختلفة من المياه الجوفية والمياه السطحية.

وبشكل عام، فإن المتطلبات والمكونات الرئيسية للتحري العلاجي/ دراسة الجدوى (RI/FS) تشمل التالي (USEPA 1989b):

- تعريف مشكلة وأهداف المعالجة.
- تصميم برامج مراقبة التربة والمياه الجوفية والمياه السطحية.
- حفر التربة وتثبيت آبار المراقبة ومحطات مراقبة المياه السطحية.
- أخذ العينات وتحليل المياه والتربة والرواسب.
- مراقبة وتحليل المياه الجوفية.
- تحليل حركة المادة الملوثة في المياه الجوفية والمياه السطحية.
- التحريات الهيدرولوجية لتحديد خصائص طبقة الماء الأرضي.
- تحديد ممرات الكشف المحتملة والمستقبلات المحتملة للمياه السطحية والمياه الجوفية الملوثة المتنقلة أو في الجوار القريب من الموقع.
- وضع خصائص للموقع.
- تقييم استراتيجيات وتقنيات المعالجة.
- تحديد وتصميم طريقة المعالجة المفضلة أو دمج الطرق.
- تصديق الوكالة على طريقة المعالجة المقترحة.

obeikandl.com

جزء مهم من التحريات المتعلقة بالتحري العلاجي/ دراسة الجدوى للمواقع الملوثة يركز على تلوث التربة والمياه الجوفية. ويمكن أن تسبق تحريات المعالجة المفصلة بسلسلة من الدراسات التمهيدية. وهذه الدراسات تتضمن التقييم التمهيدي لاحتمال التلوث في الموقع باستخدام خرائط وتفتيش الموقع وتاريخ العمليات في الموقع، والوثائق المتاحة من الوكالات المديرة والوكالات الحكومية. وتحريات المعالجة التفصيلية المتعلقة بالتربة الملوثة تشمل التالي (USEPA 1996c):

١- تحديد طريقة الموقع المتعلقة بالمفاهيم: وهي صورة ثلاثية الأبعاد أو وصف لحالة الموقع مما يوضح توزيع المواد الملوثة في التربة وآلات الإطلاق الملوثة، وطرق الهجرة والمرور المكشوفة، والمستقبلات المحتملة للملوثات المنطلقة من التربة. ويتضمن تحديد طريقة الموقع المتعلقة بالمفاهيم جمع البيانات (السجلات التاريخية، والخرائط، وخلفية البيانات، وهيئة مسح الترب بالولاية)، وتحليل البيانات لتحديد مصادر التلوث، والأوساط المتأثرة، وطرق الهجرة المحتملة، والمستقبلات، واستطلاع الموقع لتحديد النواقص في البيانات.

٢- جمع البيانات: ويتضمن هذا زيارة الموقع لعمل تقييم لتوزيع الملوثات، وتحديد خطة أخذ العينة من التربة، وتحديد طريق ملائمة لأخذ العينات والتحليلات الكيميائية، وجمع عينات التربة.

٣- تحليل بيانات التربة: ويشمل هذا تحليل عينات التربة، وتحديد الملوثات، وتخطيط مدى حيز وعمق التلوث، وتحديد خصائص التربة (مثل، محتوى الكربون العضوي، والقوام، والكثافة الجافة، ومعامل التوصيل الهيدروليكي).

التحريات العلاجية المتعلقة بالمياه الجوفية تشمل التالي (USEPA 1989b):

• وضع خصائص للكيماويات موضع الاهتمام، والتي تشمل تحديد تركيبات معينة وحالاتها الفيزيائية، ومدى التلوث، والإذابة، والامتصاص، والسمية، والتدرج، والكثافة، واللزوجة، والتركيز.

• خصائص الموقع، والتي تشمل:

• تحديد الوسط أسفل السطح.

• المسافات من مواقع أبار إمداد المياه داخل وخارج الموقع، والمجاري المائية، وحدود الملكية.

• السمك الغير مشبع والمشبع من الوسط المسامي عند الموقع وعلى امتداد الممرات المحتملة.

• التسرب، وصافي التصرف، ومحتوى الماء لمناطق التربة غير المشبعة.

• النفاذية، والكثافة الظاهرية، ومعامل التوصيل الهيدروليكي، والخصائص الكيميائية، وخصائص التشتت، ومحتوى الكربون العضوي للوسط المسامي.

• العمق إلى المياه الجوفية في منطقة التربة غير المشبعة.

• السمك المشبع، والميل الهيدروليكي، والسمات الجيولوجية لمناطق التربة المشبعة.

يمكن أن تشمل مصادر البيانات لتحريات معالجة المياه الجوفية الكتيبات، والسجلات المحفوظة من قبل مالكي ومديري المباني والمنظمات الفيدرالية ومنظمات الولاية، والدراسات السابقة، والبيانات الميدانية الخاصة بالموقع. واعتماداً على تقييم البيانات الموجودة، فإنه يجب تحديد خطة أخذ عينات المياه الجوفية لجمع البيانات الإضافية لملء النواقص في البيانات ولتخطيط المدى الأفقي والرأسي لمحتوى التلوث الموجود والممرات المحتملة لتلوث المياه الجوفية. وأبار المراقبة اللازمة لجمع البيانات

obeikandi.com

الميدانيـة يجـب أن تـشمل عـدد كـافي مـن الآبـار العليـا لتقيـيم خلفيـة التركيـزات للكيمياويات موضع الاهتمام، والآبار السفلى لتقييم الإمكانية لهجرة الملوثات داخـل وخارج الموقع وللعمل كبئر الاستجابة، والآبار في الموقع لتخطيط مدى تلـوث الميـاه الجوفية.

ويمكن استخدام الطرق الإحصائية لتحديد وفرة عينات التربة والمياه الجوفيـة لتحليل بيانات مراقبة التربة والمياه الجوفية (USEPA 1989c). وعلى سـبيل المثـال، إذا كان عدد مـواقع العينات المحتمل كبيراً، فإنه يمكـن اسـتخدام التوزيـع ثنـائي الحـد (Haan 1977) لتحديد ما إذا كان على الأقل واحد من العينات هو من أكثر الآبار تلوثاً أو من البقع الساخنة. وإذا كان العدد الكلي N من عينات التربة متاحاً من الموقع، فإنه يمكن اختيار n من العينات عشوائياً أقل N من ليـتم تحليلهـا. ثـم يمكـن حـساب احتمالية أنه على الأقل واحدة من عينات التربة n تكون من أسوأ العينـات k (أو مـن البقع الساخنة) في الكثافة الداخلية للعينات N باستخدام التوزيع الهندسي الموسع.

مثال رقم (٧,١): يتم اختبار عينات مياه جوفيـة مـن ٣٠ بئـر مراقبـة مـن موقـع مـا. استنتج الاحتمالية P، أنه على الأقل واحد من هذه الـ ٣٠ بئـر تمثـل أسـوأ ١٠٪ مـن المواقع الملوثة في الموقع.

الحل:

في هذه الحالة، يكون عدد مواقع العينة المحتملـة (الكثافـة) كبـيراً، إذن يكـون التوزيع ثنائي الحد ملائماً مع n (العدد المختار من العينات) = ٣٠، p (احتمالية أسوأ تلوث في الكثافة) = ٠,١٠. ومن هنا فإن:

احتمالية على الأقل عينة واحدة من أسوأ ١٠٪ من الآبار (P) تساوي

$$P = 1-(1-p)^{n} = 1-(1-0.10)^{30} = 0.96 \qquad \text{(Haan 1977)}$$

مثال رقم (٧,٢): إجمالي ١٠٠ عينة تربة متاحة من شبكة مربعة في الموقع. ٣٠ عينة فقط مختارة عشوائياً من العدد الكلي للعينات التي يتم تحليله. استنتج الاحتمالية، P، أنه على الأقل واحدة من العينات تمثل أسوأ ١٠ بقع ساخنة في الموقع.

الحل:

في هذه الحالة، تكون الكثافة (أي، مواقع الـ ١٠٠عينة) معلومة. إذن، يمكن أن يكون التوزيع الهندسي الموسع ملائماً (Haan 1977). وبالنسبة للتوزيع الهندسي الموسع يكون:

$N = 100 \quad , \quad n = 30 \quad , \quad k = 10$

إذن، P (احتمالية أنه على الأقل واحدة من الـ٣٠ عينة المختارة عشوائياً تكون من أسوأ ١٠ بقع) = ١- احتمالية أنه لا واحدة من الـ٣٠ عينة تكون من أسوأ ١٠ بقع ساخنة.

وطبقاً للتوزيع الهندسي الموسع، فإن احتمالية أن x من العينات n المختارة عشوائياً من الكثافة N تنتمي إلى أسوأ k من العينات:

$$p(x,N,n,k) = \left[k! / \{x!\ (k\text{-}x)!\}\right] \left[(N\text{-}k)! / \{(n-x)!\ (N\text{-}k\text{-}n+x)!\}\right] /$$
$$\left[N! / \{n!\ (N\text{-}n)!\}\right] = \{1 \times 90!\ 30!\ 70!\} / \{30!\ 60!\ 100!\} = \{90!\ 70!\} / (60!\ 100!)$$
$$= \left[\left(1.48571 \times 10^{138}\right) \times \left(1.19785 \times 10^{100}\right)\right] / \left[\left(8.32098 \times 10^{81}\right) \times\right.$$
$$\left.\left(9.33262 \times 10^{157}\right)\ \right] = 1.77966 / 77.65654 = 0.023$$

(لاحظ أن x تساوي صفر). ويمكن الحصول على قيم المضروبات من الجداول القياسية (مثل، Abramowitz and Stegun 1972). وبالتالي فإن:

$P = 1 - 0.023 = 0.98$

obeikandl.com

يمكن أيضاً أن يقدر عدم التأكيد المتضمن في تكلفة المعالجة المقدرة والحجم للتربة الملوثة أو المياه الجوفية الذي يقوم على عدد معين من العينات المأخوذة من الموقع، باستخدام الطرق الإحصائية (Spurr and Bonini 1973). والخطوات الحسابية لذلك موضحة في المثال رقم (٧.٣).

مثال رقم (٧,٣): إجمالي ١٠٠ عينة متاحة من شبكة مربعة في موقع ما. كل عينة تمثل تقريباً ٢٠٠٠ طن من وزن التربة، وتكلفة المعالجة تقدر بـ ١٠٠٠ دولار لكل طن. أوضح التحليل الكيميائي أن ٣٠ من العينات تكون فوق مستوى التلوث المسموح به. استنتج عدم التأكد في تكلفة المعالجة عند مستوى ثقة ٩٥٪ وكذلك تكلفة عدم التأكد القصوى.

الحل:

العدد الكلي للعينات:

$$N = 100$$

الوزن الكلي للتربة المدروسة =

$$2,000 \times 100 = 200,000 \ \text{tons}$$

نسبة العينات الملوثة:

$$p = 30/100 = 0.30$$

الخطأ القياسي في النسبة p :

$$S_p = \sqrt{\{p(1-p)/N\}} = \sqrt{\{0.30(1-0.30)/100\}} = 0.0458$$

وأعلى خطأ قياسي في العينة:

$$S_p(\max) = 0.5/\sqrt{N} = 0.5/\sqrt{100} = 0.05$$

openkandil.com

عند مستوى ثقة α (٩٥٪)، يكون الحد الأعلى للتأكد في النسبة p:

$$p_u = p + t_{\alpha,N} \cdot S_p$$

حيث إن $t_{\alpha,N}$ هي t الإحصائية لمستوى التأكد α لحجم عينة N، وتأخذ من الجداول الإحصائية (Spurr and Bonini 1973) وتساوي ١,٦٥ (في حالة α تساوي ٩٥٪، و N تساوي ١٠٠)، وبالتالي فإن

$$p_u = 0.30 + 1.65 \times 0.0458 = 0.3756$$

ومقياس عدم التأكد:

$$M_u = p_u - p = t_{\alpha,N} \cdot S_p = 0.0756$$

و

$$M_u(\max) = 1.65 \times 0.05 = 0.0825$$

وتكون تكلفة عدم التأكد عند مستوى ثقة ٩٥٪:

$$0.0756 \times 200{,}000 \times 1{,}000 = 15{,}120{,}000\ \$$$

وتكون تكلفة أقصى قيمة لعدم التأكد:

$$0.0825 \times 200{,}000 \times 1{,}000 = 16{,}500{,}000\ \$$$

لاحظ أن تكلفة عدم التأكد تقل مع الزيادة في عدد العينات لأن كل من S_p و $t_{\alpha,N}$ يقلان مع الزيادة في عدد العينات. ويمكن عمل المنحنيات البيانية المفصولة بين تكلفة عدم التأكد عند مستويات تأكد مختلفة وعدد العينات، ويمكن اتخاذ قرار حول عدد العينات المطلوبة للحصول على تكلفة معقولة لعدم التأكد عند مستوى تأكد مقبول.

تشمل دراسات الجدوى المتعلقة بمعالجة التربة والمياه الجوفية الملوثة التقييم المقارن للتقنيات المختلفة بما فيها تقنية الإزالة أو الاستخراج، وتقنية المعالجة

الموضعية، وتقنية الإضعاف الطبيعي، والتقنيات المناسبة الأخرى (انظر الجزء في هذا الفصل بعنوان "عمليات ومظاهر الهيدرولوجية المناسبة").

أمثلة على تلوث المياه السطحية والرواسب العالقة أو الناتجة من تلوث التربة والمياه الجوفية تحدث في الحالات التالية:

• عندما يتم تصريف المياه الجوفية الملوثة إلى مناطق المياه السطحية، فإن تركيزات الملوثات المخففة يمكن أن تكون ذات أهمية بالنسبة لآثارها على الحيوانات والنباتات المائية، والتدفق الكتلي الكلي للملوثات التي تدخل النظام البيئي المستقبل يمكن أن تكون مهمة بالنسبة للسعة التمثيلية لمنطقة المياه السطحية المستقبلة.

• عندما يتم انجراف التربة الملوثة في المواقع الصناعية أثناء العواصف الممطرة، وتنتقل إلى منطقة المياه السطحية القريبة، وتترسب في قاع وسهول المجاري المائية، أو في المستنقعات أو الأراضي الحوضية، أو خلف العوائق، مثل السدود.

• وحيثما تؤدى حركة تصرف مياه العاصفة الملوثة من المواقع الصناعية إلى ترسيب الرواسب الملوثة على قاع وضفتي منطقة أسطح مائية قريبة.

• وعندما تترسب الرواسب الملوثة بالملوثات البيولوجية أو أنواع أخرى من الملوثات خلف السدود، أو في المستنقعات، أو في الأرض الحوضية، أو أن تكون التحليلات مطلوبة لتقدير أحجام الرواسب المترسبة والنماذج اللازمة لنقل وتوزيع الرواسب التي تمت إزالتها عن طريق رفع الوحل أو الغسيل في قنوات المصب والسهول الفيضية.

وتختلف البيانات المطلوبة للتحليلات الهيدرولوجية، والهيدروليكية وتحليلات المخاطرة المتعلقة بتلوث المياه السطحية والرواسب من موقع إلى أخر. وعلى العموم، تشمل هذه البيانات التالي:

openkarabic.com

• الخرائط التضاريسية (الكنتورية) التي توضح مواقع مناطق المياه السطحية بالنسبة للموقع.

• خصائص تربة السطح، بما فيها الانجراف، والمنحدرات، والغطاء النباتي، وممارسات المحافظة على التربة، والنفاذية، وتوزيع حجم الحبيبات.

• الكيماويات موضع الاهتمام وخصائص الامتصاص/ المج والإذابة في الماء.

• الصفة الكيميائية (أي، تركيز الكيماويات موضع الاهتمام) لتربة السطح.

• تدفق، ومراحل، والقطاعات الجانبية، وجودة مياه منطقة المياه في الموقع بالجوار القريب والمناطق المائية الشبيهة كي تكون المستقبلات للتلوث المتعلق بالموقع.

• توزيع حجم جزيء رواسب قاع المجرى المائي والرواسب العالقة.

• جودة المياه، وقياس الأعماق، وتوزيع حجم جزيء وأعماق الرواسب عند قاع التجمعات المائية في الجوار القريب.

• بيانات نزول المطر للموقع ومجاري السريان للمجاري المائية القريبة.

• نتائج تدفق المياه الجوفية الملوثة التي تدخل منطقة المياه السطحية المتأثرة.

• الأحمال اليومية الكلية القصوى أو محددات التصرف على المجرى المائي (مثل بند ٣٠٣ (د) من وثيقة تخصيص استخدام معين). (USEPA 1991b).

المنظور التنظيمي Regulatory Perspective

بيان الاستجابة والتعويض والاعتماد البيئي، والذي تم تعديله عن طريق التعديلات عالية التمويل وبيان إعادة الترخيص لعام ١٩٨٦ (SARA)، يرخص للحكومة الفيدرالية أن تستجيب إلى إطلاقات أو مخاطر إطلاق المواد الخطرة، أو الملوثات في البيئة. وفى التتابع لإمدادات هذا البيان، فإن كل المواقع الملوثة المخصصة للتقييم في العمق من خلال تحري المعالجة/ دراسة الجدوى تكون محتواة في قائمة

الأولويات القومية (NPL). وجزء من دراسات الجدوى لهذه المواقع هو تحديد تقييم المخاطرة لأثار المشروع المتعلقة بالصحة والمنسوبة إلى المواقع. ويكون تقييم المخاطرة قائماً على نتائج تقييم كشف الموقع. ويقوم تقييم كشف الموقع بتقييم نوع ومدى الملوثات المنطلقة التي تلي الإطلاق، وتضمن الصلة الناتجة مع الكثافة البشرية المائية المكشوفة.

وبالإضافة إلى ذلك، فإن لدى الوكالات التنظيمية السلطة لعدم إصدار المزيد من خطابات المعالجة للمواقع (الغير محتواة في قائمة الأولويات القومية) المدرجة في برامج التنظيف التطوعية بعد قيام/ مدير الموقع، من خلال التحقيق السليم والمعالجة، بتوضيح أن الموقع المعالج لا يشكل تهديداً على صحة الإنسان أو البيئة. وقد تم تحديد الإجراءات لتقييم المخاطرة على صحة الإنسان عن طريق إطلاقات الملوثات في هذه المواقع وتحديد أهداف المعالجة لحماية المياه السطحية، والمياه الجوفية، والرواسب، والنظام البيئي. وإن هدف هذه الإجراءات تقديم حماية كافية لصحة الإنسان والبيئة بناءً على مخاطر الكشف. وتشمل ممرات كشف الإنسان الطبيعية أو الصناعية الحالة الفيزيائية التي يمكن أن تعرض صحة الإنسان للخطر بسبب وجود الملوثات موضع الاهتمام، وطريق الكشف، ونشاط المستقبل عند نقطة الكشف.

وقد قامت بعض الوكالات التنظيمية بتحديد منهج مصفوف لأهداف العمل التصحيحي للمواقع الملوثة. تقييم الصف١ لتحديد أهداف العمل التصحيحي يقارن التركيزات الملوثة المسجلة عند الموقع بأهداف المعالجة المناظرة الموصوفة للملكيات السكنية والصناعية/ التجارية. تقييم الصف٢ يستخدم تحليل يقوم على المخاطرة، وتقييم الصف٣ يسمح بالمتغيرات والعوامل البديلة كي تستخدم في تحليل أهداف

المعالجة. تقييمات الصف٢ والصف٣ تتطلب تحليلات أكثر تفصيلاً من تقييمات الصف١ (مثل، IPCB 2001).

في حالة كل من قائمة الأولويات القومية ومواقع التنظيف التطوعية، فإنه يجب على الوكالات التنظيمية أن تكون مقنعة، عن طريق التحليلات التقنية والبيانات الميدانية، وحول كفاية التحريات العلاجية المختارة.

ومادام هناك اهتمام بتلوث المياه السطحية والرواسب والمخاطر المعرض لها صحة الإنسان والبيئة، فإنه يجب على عالم الهيدرولوجيا أن يقوم بإجراء التحليلات الهيدرولوجية/ الهيدروليكية وتحليلات النقل وتحليلات المخاطرة الاحتمالية لتقييم المخاطرة المحتملة للملوثات التي تصل نقطة الكشف المحتملة. ويجب على عالم السميات أو الصحة أن يقيم المخاطرة الناتجة على صحة الإنسان، وعلى عالم الجيولوجيا أن يقيم المخاطرة على الحياة المائية.

وبالنظر إلى حماية المياه السطحية من التلوث بسبب المصادر المفردة وغير المفردة، فقد قام الكونجرس الأمريكي في عام ١٩٧٢م بسن بيان المياه النقية. ويتطلب بند ٣٠٣ (د) من بيان المياه النقية وجود عبارات لتحديد ما إذا كانت مناطق المياه السطحية ضمن حدودها تتوافق مع مقاييس جودة المياه. وبالنسبة لمناطق المياه السطحية التي لا تقوم أو لا يمكن أن تتوافق مع مقياس معين، حتى مع وجود حدود لفرع النهر، فالمراد من عبارات تحديد منطقة المياه عند تلفه وتحديد أقصى حمل من الملوثات (أو أقصى أحمال يومية كلية) يمكن أن تستقبله منطقة المياه ومازال يتوافق مع مقاييس جودة المياه. إذن، فالمفروض من العبارات توزيع أقصى أحمال يومية محتملة بين هذه المصادر التي تصرف إلى منطقة المياه، مع أهداف تقليل تصريف الملوثات إلى منطقة المياه التالفة وجعله يتوافق مع المقاييس (USEPA 1991b). ومن خلال النماذج

الهيدرولوجية، والهيدروليكية، ونماذج جودة المياه، على عالم الهيدرولوجيا أن يحدد مدى المعالجة الذي يحد من الحمل في المجرى المائي أو البحيرة إلى هذا المذكور من قبل وكالات الولاية.

العمليات والمحاكاة الهيدرولوجية المناسبة

Relevant Hydrologic Processes and Simulations

العمليات الهيدرولوجية Hydrologic Processes

العمليات الهيدرولوجية الخاصة بالتحري العلاجي RI/ دراسة الجدوى FS للمواقع الملوثة تشمل التالي:

١- تساقط المطر-الجريان السطحي: قياس تساقط المطر، والجريان السطحي، والانجراف المحتمل من حدوث تساقط المطر-الجريان السطحي، والجزء من المطر المتساقط الذي ينتقل إلى المياه الجوفية على هيئة تسرب أو إعادة خزن.

٢- التسرب ونقل المياه الجوفية: تحدد الجزء من المطر المتساقط المتاح للمج، وللذوبان، ولنقل الملوثات القابلة للذوبان خلال الرشح لمناطق المياه الجوفية ومناطق التربة المشبعة.

٣- نقل المياه السطحية للملوثات القابلة للامتزاج: تشمل الخلط، وحركة الهواء الأفقية، والتشتت، والمج أو الامتصاص للملوثات التي تدخل منطقة المياه السطحية عن طريق رشح المياه الجوفية، أو تصرف المياه الفائضة، أو تصرف مياه العاصفة.

٤- نقل الرواسب: تشمل انجراف ومج الرواسب الملوثة من أسطح التربة، أو نقلها خلال مجرى السيول، أو عن طريق التدفق البري، وترسيبها في دلتا الأنهار، والخزانات، والأراضي الرطبة، والمستنقعات، ومصاب الأنهار.

تعتبر خطوات التحليل التالية مطلوبة لمحاكاة عملية تساقط المطر-الجريان السطحي ولتقييم مدى ترسيب المواد الملوثة في منطقة المياه السطحية الناتج من العمليات سالفة الذكر:

• احصل أو قم صناعياً بتكوين متتابعات لتساقط المطر في الساعة (أو ١٥-دقيقة) لفترة لتحليل. وبالتبادل، لتحليل مبسط، استنتج مدة وعمق تساقط المطر لأحداث العاصفة الهامة المنفصلة لكل سنة. ويمكن أن تُعرف أحداث العاصفة الهامة على أنها تلك التي تكوّن لها شدة كافية من تساقط المطر بحيث تتسبب في انجراف ملحوظ للتربة. وتُعرف وكالة حماية البيئة للولايات المتحدة أن ٠,١ بوصة هو أدنى عمق لتساقط المطر قادراً على إنتاج خصائص تساقط المطر/ الجريان السطحي الضرورية لتكوين حجم كافي من الجريان السطحي لتحليل عينة ذا معنى لمياه العاصفة (40 CER Parts 122, 123, and 124; Federal Register Vol. 55, No. 222, Friday, November 16, 1990, Page 48018; ISEPA 1991d). وحدث العاصفة القادر على التسبب في انجراف للتربة ملحوظ يجب أن يكون أكبر وأكثر شدة.

• استنتج أحجام ومعدلات الجريان السطحي وانجراف التربة من الموقع أثناء أحداث العاصفة المنفصلة.

• استنتج الانجراف أثناء أحداث المطر الاعتبارية (أحداث تساقط المطر التي يمكن ألا تنتج انجراف ملحوظ للتربة) من معلومات جودة المياه للرواسب العالقة.

• احسب كمية الرواسب المنقولة خلال المجرى المائي مع الجريان السطحي وانجراف التربة الداخل من مساحة الموقع، بما فيه الانجراف والترسيب في قاع المجرى المائي، والسهول الفيضية، وأحواض مهبط النهر.

• استنتج الأجزاء الملوثة/ غير الملوثة من الرواسب المترسبة في المجرى المائي والأحواض عن طريق التوزيع النسبي اعتماداً على الأجزاء الملوثة وغير الملوثة من مجرى السريان.

• تحقق من معقولية المدى المقدر لتلوث الرواسب باستخدام معلومات عينة التربة من المواقع المختارة والاستكمال القياسي عن طريق برنامج حاسب أو أي من إجراءات الاستكمال قياسي/ الاستكمال الخطي الأخرى.

وبالنسبة لتصرف المياه الجوفية من المواقع الملوثة والتصرفات الأخرى من المصادر المفردة وغير المفردة الملوثة بالمكونات القابلة للامتزاج، فإن الوكالات التنظيمية تكون مسئولة عن الوصف الحاد والمزمن لمناطق الخلط التنظيمي (ARMZ and CRMZ) لمناطق المياه السطحية المستقبلة والتي لا تطبق فيها مقاييس جودة المياه الطبيعية (Hutcheson 1998). ومنطقة الخلط هي تلك المنطقة من مناطق المياه السطحية في اتجاه مصب التيار عند نقطة تصرف الملوثات حيث يحدث الخلط الفيزيائي في كل الاتجاهات حتى تحقق المكونات في التصرف تركيزات منتظمة في منطقة المياه المستقبلة. ويجب أن يكون التركيز المنتظم المتوقع للكيماويات موضع الاهتمام ضمن مستويات التلوث القصوى سالفة الذكر، ويجب أن يكون تدفق الكتلة الكلي لهذه الكيماويات ضمن الحمل الكتلي المسموح به لهذه المنطقة المائية. ويجب الحفاظ على حجم منطقة الخلط عند أدناها ويجب أن تسمح بالرشح الآمن، والحماية، وتطور الكائنات المائية. والمعيار الشائع الاستخدام لوضع حد للخلط الكامل أو منطقة الخلط هو أن التركيز عند أي نقطة في القطاع العرضي عند حد منطقة الخلط يجب ألا يتجاوز ٥٪ من القيمة المتوسطة للقطاع العرضي (Fischer *et al.* 1979). وفى الحالات التي يقع تصرف المياه الجوفية من المواقع الملوثة في البحيرات والأحواض،

فإن التدفق الكتلي الكلي للملوثات والتركيزات في منطقة المياه السطحية أثناء الفترات الحرجة بالنسبة لفقس ونمو البيئة الطبيعية المائية يعتبر من العوامل المقيدة.

وتحدد معظم مقاييس جودة المياه استخدام Q10V لتقييم أثار التصرفات المفردة وغير المفردة على جودة مياه المجاري المائية. وخطوات التحليلات المستخدمة بشكل عام لتقييم مدى تلوث المياه السطحية الناتجة من تصرفات المياه الجوفية من المواقع الملوثة تشمل التالي:

• حدد مصدر المياه الجوفية الملوثة التي تدخل المجرى المائي أو البحيرة بدلالة تركيزات الكيماويات موضع الاهتمام، وتدفق الكتلة، وأبعاد مساحة المصدر. واعتماداً على ظروف الموقع المحددة أو درجة تعقيد التحليلات المطلوبة، قم بتصريف المصدر كمفرد، أو مصدر خطي (رأسي أو أفقي)، أو كمصدر غير منتظم الشكل محدد بشبكات مستطيلة أو مثلثة، أو عناصر نظيرة مستطيلة.

• حدد الخصائص الهيدروليكية وخصائص جودة المياه لمنطقة المياه السطحية المستقبلة (مثل، القطاع العرضي، والتدفق، وسرعات التدفق، وجودة المياه المحيطة، ومتغيرات التشتت/ الانتشار للمجاري المائية، والتدفقات، والانصبابات، وسعة التخزين، واحتمال التراصف، وجودة المياه المحيطة من البحيرات والأحواض). ويعتمد مدى البيانات المطلوبة على تعقيد التحليلات المطلوبة.

• احصل على البيانات المناخية المطلوبة لنماذج جودة المياه للبحيرات والأحواض.

• قم بأداء تحليل التشتت التأفقي مع المج/ الامتصاص لنقل الملوثات التي تدخل المجرى المائي مع تصرف المياه الجوفية خلال المجرى المائي المتأثر و/ أو البحيرة المتأثرة.

• استنتج حدود وأبعاد منطقة الخلط والكتلة الكلية المذابة وقارنها مع السعة التمثيلية لمنطقة المياه السطحية التي تقرر عن طريق الوكالات التنظيمية.

عادةً، لا تكون البيانات الكافية الخاصة بالموقع متاحة للمعايرة والتحقق من دقة نتائج النماذج والتحليلات المتعلقة بتلوث المياه السطحية والرواسب. ويجب أن يتعادل تعقيد النموذج المختار أو التقنيات التحليلية المختارة مع كمية البيانات المتاحة الخاصة بالموقع. إذن، في معظم الحالات، تكون نتائج التحليلات والنماذج لها دقة محدودة. ومع هذا، فإن هدف التحري العلاجي/ دراسة الجدوى هو جمع وتحديد البيانات الكافية لتحديد المصادر الأساسية، والطبيعية، ومدى التلوث، وتحديد الأطراف الأساسية المسئولة عن التلوث، وتوزيع مسئوليات المعالجة وتحديد تفاصيل مستوى الجدوى لطرق المعالجة المحتملة. ويجب أن يتم تحديد التصميم المفصل وتكاليف المعالجة لاحقاً بناءاً على البيانات الإضافية حول مدى التلوث ومستويات التنظيف المتفق عليها مع الوكالات التنظيمية ونتائج الاختبارات المرشدة لفاعلية تقنية المعالجة المختارة.

وتحاكى النماذج الهيدرولوجية والعمليات الهيدرولوجية لمجرى سريان الماء السطحي وتحت السطحي والناتجة عن الجريان السطحي على سطح الأرض، وتفاعل المياه الجوفية، وتحميل ملوثات المصدر غير المفرد. وتعتبر هذه النماذج الهيدرولوجية قاعدة لتحليلات بيئية متنوعة، وخاصة عند التعامل مع مشاكل إدارة مجرى السريان وتقييم أثار مصادر منبع النهر ومناطق المياه المستقبلة. وتعتمد هذه النماذج على العمليات المعتمدة على الأرض والأنشطة البشرية التي تحدث ضمن مجرى سريان الصرف لتقدير التدفق، والرواسب، وحمل الملوث الأخر. وبشكل عام، يتم تصميم كثير من هذه النماذج لعمل توقع متكامل لتوازن الماء وحركة الملوث من المصادر

المفردة وغير المفردة. ويتم عمل هذه التوقعات غالباً على مدى فترة طويلة من الزمن (أحياناً على مدى عقود) لتقييد آثار التغيير التي تطبق على آفاق زمنية أطول.

ويتم تقدير الحجم والمنحنى المائي للجريان السطحي باستخدام النماذج القائمة على الأحداث مثل (HEC-1 USACE 1991a)، و (HEC-HMC USACE 2001) أو نماذج محاكاة التدفق المستقر مثل (HSPF USEPA 1991a)، و (NWSRFS NWS 1998; Prakash and Dearth 1990)، و (SSAR USACE 1986). ويمكن تقدير انجراف الرواسب المحتمل أثناء أحداث العاصفة المنفصلة باستخدام المعادلة العالمية المعدلة للفقد في التربة (MUSLE). ويمكن تقدير متوسط الانجراف السنوي للرواسب باستخدام المعادلة العالمية للفقد في التربة (USLE). وبناءً على طول وشدة انحدار مسار الجريان السطحي، فإن الكمية الكلية للرواسب المنجرفة من مساحة الموقع يمكن ألا تصل إلى المجرى المائي المستقبل. ولتعليل ترسيب الرواسب على طول مسار الجريان السطحي، فإنه يجب تقدير نسبة تسليم الرواسب (SDR) واستخدامها (USEPA 1988a). وفي حالة عمليات المحاكاة القائمة على الأحداث، فإنه يمكن استخدام النماذج التي تحاكي كل من الجريان السطحي وانجراف الرواسب. وكمثال، فإن نموذج (SEDIMOT II Wilson 1984) هو نموذج يقوم على الأحداث يمكنه حساب حجم الجريان السطحي والمنحنى المائي، وانجراف الرواسب باستخدام المعادلة العالمية للفقد في التربة MUSLE أو المعادلة العالمية المعدلة للفقد في التربة USLE ونسبة تسليم الرواسب SDR، وحجم وتركيزات الرواسب التي تصل المستقبل (مثل، أحواض الترسيب)، وترسيب الرواسب في المستقبل (انظر الفصل الثالث).

وعلى عالم هيدرولوجيا المياه السطحية القيام بتقدير الجزء من نزول المطر الذي يحتمل أن يتسرب من خلال رشح الماء إلى المناطق شبه الجوفية ومناطق التربة المشبعة.

ويقوم عالم هيدرولوجيا المياه الجوفية بمحاكاة نقل ملوثات السطح مع ماء المطر المتسرب وتدفق المياه الجوفية إلى الرشح على طول الضفاف تحت، أو فوق، أو أسفل ارتفاع سطح الماء في منطقة المياه السطحية. ويمكن محاكاة تدفقات المياه الجوفية هذه كمصادر مفردة، أو خطية، أو مسطحة تقع عند ضفة منطقة المياه السطحية (انظر الفصل الرابع).

ويكون التسرب الرأسي لماء الرشح خلال المناطق شبه الجوفية ومناطق التربة المشبعة، عملية بطيئة نسبياً. ويتم عادةً استخدام متوسط التسرب السنوي لتقييم احتمال الحركة في الاتجاه السفلي للملوثات مع تسرب مياه المطر. ويعتمد معدل النقل الرأسي على معامل التوصيل الهيدروليكي الرأسي لماء الرشح خلال المناطق شبه الجوفية ومناطق التربة المشبعة في الموقع. ويكون معامل التوصيل الهيدروليكي دالة في رطوبة التربة ولهذا يصعب تحديده بسبب أحوال رطوبة التربة المتغيرة بشكل مؤقت وحيزي. ويعتمد تقدير متوسط التسرب السنوي بشكل عام على العلاقات العملية والبيانات الإقليمية المتاحة. ويمكن استخدام طريقة رقم المنحنى لخدمة المحافظة على التربة (SCS)، مع رقم منحنى مختار ليعكس أحوال متوسط الجريان السطحي السنوي لمساحة الموقع، لتقدير الفقد الكلي في نزول المطر بسبب الصد، والبخر، والتسرب (ASCE 1996). ويمكن استخدام الطرق العملية (مثل، معاملات تسرب ماكسي-إيكين Maxey-Eakin) لأحوال الموقع الخاصة (Avon and Durbin 1994). وفي حالة أحواض النهر، حيث تكون متاحة بيانات المتوسط السنوي للجريان السطحي، فإن الفرق يمكن أن يقدم تقديراً للفقد الكلي في نزول المطر. وفي الحالات التي فيها إجراء محاكاة التدفق المستمر باستخدام النماذج سابقة الذكر، فإن مكون حساب رطوبة التربة للنموذج يقدم تقديراً للتسرب. ويستخدم متوسط معدل التسرب السنوي لمحاكاة

حركة الملوثات الذائبة من مصادر السطح إلى سطح المياه الجوفية من خلال منطقة الماء الراشح شبه الجوفي (Prakash 1996, 2000a). ويتم محاكاة نقل الملوثات خلال المنطقة المشبعة باستخدام تدفق أحادي، وثنائي، وثلاثي البعد ونماذج النقل (انظر الفصل الرابع).

تشمل المكونات المتعلقة بنماذج جودة المياه السطحية عمليات النقل الهيدرولوجي، والهيدروديناميكي، وعمليات نقل الرواسب. وتحاكي النماذج الهيدروديناميكية نقل مياه العاصفة والرواسب الملوثة خلال أنظمة المياه السطحية. ويقدم النموذج الهيدروديناميكي ارتفاعات سطح الماء، والسرعة الأفقية والرأسية، وإجهاد القص، والتشتت المضطرب للتنبؤ بنقل الرواسب العالقة والملوثات الذائبة والممتصة. ويحاكي نموذج نقل المادة الملوثة حركة الملوثات الذائبة والرواسب الممتزة عن طريق التأفق، والتصلب الدقائقي، والتشتت المضطرب، وحركة الهواء الأفقية، والتشتت الجزيئي، والانتشار الهيدروديناميكي، والخلط الحيوي.

وتشمل نماذج نقل الرواسب محاكاة الانجراف، والنقل، والترسيب الناتج عن المياه، والرياح، والجاذبية. ويمكن أن يكشف الانجراف الترب الملوثة، التي يمكن أن تكون متعرضة لمسارات الكشف بسبب الانجراف الإضافي عن طريق المياه والرياح. ويمكن أن يضعف نقل الرواسب الملوثة من الجودة البيئية عن طريق حركة الملوثات الممتصة إلى مستقبلات أخرى محتملة (مثل، الأنهار، والبحيرات، ومصاب الأنهار). ويمكن أن يؤثر ترسيب الرواسب الملوثة على السهول الفيضية للنهر، والمستنقعات، والأراضي الحوضية ويمكن أن يهدد بيئة المياه الجوفية بسبب تسرب ورشح الملوثات.

طرق المعالجة Remediation Methods

الطرق شائعة الاستخدام لمعالجة التربة والمياه الجوفية تشمل الإزالة، والمعالجة، والإضعاف الطبيعي.

الإزالة Removal: تعد الإزالة طريقة معالجة مألوفة للرواسب الملوثة. وهي تتضمن النقل، والمعالجة، والتخلص من الرواسب الملوثة واستخراج والتخلص من المياه الجوفية الملوثة. وتعتمد حيوية التخلص الفيزيائي للرواسب على طبيعة الرواسب، وأنواع الملوثات، وعمق الترسيب، وسمك وحجم الرواسب، وإتاحة المعدات المطلوبة. ويكون الجرف والنقل ملائماً عندما تكون الأثار البيئية لعدم الفعل غير مقبولة، أو الأحوال البيئية مثل فعل الموجة، أو الفيضان، أو منع الانجراف الذي يترك الرواسب في مكانها، أو الرواسب القابعة في الممرات المائية الملاحية ولابد من إزالتها. والطرق الشائعة للجرف تشمل الجرف الميكانيكي، والهيدروليكي، والهوائي. ويتضمن الجرف الميكانيكي جرف الرواسب أو الحفر باستخدام معدات تحريك الأرض التقليدية. ويستخدم الجرف الهيدروليكي جرافات محمولة، ويدوية، وجرافات المص المنبسط، وجرافات رأس المقطع، وجرافات الكناسة، وجرافات القادوس. وتشمل الجرافات الهوائية جرافات الرافعة الهوائية وجرافات الغاز.

المعالجة Treatment: تشمل المعالجة في المكان وخارج المكان للملوثات (عن طريق التغطية، والتجمد، والتثبيت، والتجميد الأرضي)، وغسل التربة، والمعالجة الكيميائية بما فيها الاستخراج الكيميائي والتدمير/ التحويل، والمعالجة البيولوجية، والحرق في الأفران. وتتضمن التغطية وضع مادة نظيفة فوق قمة الرواسب الملوثة.

ويقوم التجمد والتثبيت والتجميد الأرضي بتجميد الرواسب الملوثة عن طريق معالجتها بالكاشف لتجميدها أو تثبيتها، وغسيل التربة هو عملية تقليل حجم تعتمد على المياه يتم فيها استخراج المواد الملوثة ودمجها في أجزاء صغيرة متبقية من الحجم الأصلي باستخدام وسائل فيزيائية أو كيميائية. وتشمل المعالجة الكيميائية عمليات نزع الكلور والأكسدة. وهي تقوم بإضافة الكاشفات إلى الرواسب حتى تدمر، وتزيل السمية، أو لإزالة المواد الملوثة. وتشمل المعالجة الكيميائية المعالجات الحيوية الهوائية واللاهوائية. ويتضمن الحرق في الأفران حرق المواد الملوثة عند درجات حرارة عالية والتخلص من الرماد والخبث الناتج.

المعالجة عن طريق الإضعاف الطبيعي:

Remediation by Natural Attenuation (RNA)

وهي تتضمن التقليل المستمر والمتقدم لتركيزات المواد الملوثة في التربة والمياه الجوفية في الموقع القريب بسبب التشتت الجزيئي، والانتشار الميكانيكي، والتخفيف عن طريق إعادة الملء بسبب تسرب مياه المطر، والتصعيد، والامتزاز، والتفاعلات الكيميائية (مثل، التميؤ/ الإحلال، والإزالة، والأكسدة/ الاختزال)، والتحلل الحيوي الهوائي و أو اللاهوائي، بما فيه إزالة الهالوجينات. ومن بعض مزايا المعالجة عن طريق الإضعاف الطبيعي الإزعاج الأدنى للموقع، والاستخدام المستمر للموقع أثناء المعالجة، والتكلفة المالية المنخفضة، وقابلية التطبيق على التربة والمياه الجوفية أسفل المباني والمناطق الأخرى التي يمكن أن يتعذر الوصول إليها. وبالإضافة لذلك يمكن استخدام المعالجة عن طريق الإضعاف الطبيعي كمعوض لتقنيات المعالجة الأخرى.

ويتطلب تقييم صلاحية المعالجة عن طريق الإضعاف الطبيعي نماذج وحساب معدلات وممرات تدرج المواد الملوثة لإظهار أن العمليات الطبيعية لتدرج المواد الملوثة سوف يقلل من تركيز المواد الملوثة إلى مستويات مقبولة قبل اكتمال ممرات الكشف المحتملة. ويجب أن تستمر عمليات مراقبة المياه الجوفية وأخذ العينات من الرواسب لفترة كافية من الزمن ضمان حدوث التدرج بمعدلات ثابتة مع أهداف التنظيف المقررة. ويمكن إيضاح جدوى المعالجة عن طريق الإضعاف الطبيعي على أنه مقياس معالجة مقبول من خلال جمع البيانات الميدانية الغير غالية نسبياً، والتحليلات المعملية، والنماذج أثناء مرحلة وضع خصائص الموقع. وإذا وجد أنه لا جدوى من المعالجة عن طريق الإضعاف الطبيعي، فإن البيانات التي تم جمعها (مع أو بدون عمل ميداني إضافي) يمكن استخدامها لتصميم مقاييس تعويضية أو علاجية أخرى. ومع هذا، تتطلب المعالجة عن طريق الإضعاف الطبيعي مراقبة التربة والمياه الجوفية لفترة طويلة نسبياً من الوقت قبل وبعد المعالجة ويمكن أن تتطلب إزالة للمصدر و/ أو التقرير، والموافقة، والصيانة طويلة المدى لمناطق إدارة المياه الجوفية (GMZs). ومناطق إدارة المياه الجوفية هي مناطق ثلاثية الأبعاد تحتوى على مياه جوفية يتم إدارتها لتخفيف التلف الناتج عن إطلاق الملوثات موضع الاهتمام عند الموقع العلاجي.

الخطوات البحثية لإظهار صلاحية الإضعاف الطبيعي عند موقع ما تشمل التالي:

• وضع خصائص للموقع، بما فيها تحديد المصدر، وترتيب المميزات، وتحديد خصائص طبقة الماء الأرضي.

• تقييم جدوى المصدر أو إزالة المنتج الحر.

• جمع بيانات عن تلوث التربة والمياه الجوفية لفترات متعددة من الزمن ومقارنة تركيزات التلوث للفترات المختلفة.

• التحليلات المعملية لإظهار التحلل الحيوي للملوثات موضع الاهتمام.

• نماذج التوصيل والنقل لإظهار أن تركيز الملوث سوف يتم إضعافه عن طريق العمليات الطبيعية قبل التأثير على أي من المستقبلات المحتملة مع أو بدون إزالة المصدر.

• التحليل القائم على المخاطرة لإظهار أنه ليس هناك تهديداً محتملاً لكشف المادة الملوثة على المدى القصير أو الطويل.

• القابلية العملية لمراقبة المياه الجوفية المستمرة لفترات طويلة بشكل كافي من الزمن في المستقبل.

• تقييم إتاحة تقرير وصيانة مناطق إدارة المياه الجوفية لفترات زمنية محددة في المستقبل.

تقنيات المعالجة Remediation Technologies

تقنيات المعالجة شائعة الاستخدام للتربة الملوثة تتضمن المعالجات التالية:

١- المعالجة الحيوية في المكان: وهي تشمل إزالة الملوثات المتطايرة (VOCs) وشبه المتطايرة (SVOCs) من التربة باستخدام طرق التحلل الحيوي أو التنفس الحيوي.

٢- المعالجة الفيزيائية/ الكيميائية في المكان: وهي تشمل غسل التربة (لإزالة الملوثات المتطايرة والمعادن)، واستخراج بخار التربة (لإزالة الملوثات المتطايرة)، واستخراج البخار المحسن حرارياً (لإزالة الملوثات المتطايرة وشبه المتطايرة)، وتقنيات التجمد أو التثبيت (لإزالة المواد شبه المتطايرة والمعادن).

٣- المعالجة الفيزيائية/ الكيميائية خارج المكان: وهي تشمل إزالة الهالوجينات (لإزالة الملوثات المتطايرة وشبه المتطايرة)، وغسل التربة (لإزالة الملوثات المتطايرة

وشبه المتطايرة والمعادن)، واستخراج بخار التربة (لإزالة الملوثات المتطايرة)، والمج الحراري منخفض الحرارة (لإزالة الملوثات المتطايرة)، والحرق في الأفران (لإزالة الملوثات المتطايرة و شبه المتطايرة).

تشمل تقنيات معالجة المياه الجوفية والمياه السطحية ومعالجة الترشيح التالي:

١- المعالجة الحيوية في المكان: وهي تشمل استخدام المعالجة الحيوية بتحسين الأكسجين لإزالة الملوثات المتطايرة وشبه المتطايرة.

٢- المعالجة الفيزيائية/ الكيميائية في المكان: وهي تشمل رش الهواء لإزالة الملوثات المتطايرة، والاستخراج ثنائي المرحلة لإزالة الملوثات المتطايرة، وجدران المعالجة الخاملة كيميائياً لإزالة الملوثات المتطايرة وشبه المتطايرة والمعادن، وجدران الطين السائل لتحتوى نزوح الملوثات المتطايرة وشبه المتطايرة والمعادن، واستخراج بخار الهواء لإزالة الملوثات المتطايرة وشبه المتطايرة والمعادن.

٣- المعالجة الفيزيائية/ الكيميائية خارج المكان: وهي تشمل نزع الهواء لإزالة الملوثات المتطايرة وشبه المتطايرة، وامتصاص الكربون لإزالة الملوثات المتطايرة وشبه المتطايرة والمعادن، وأكسدة الأشعة فوق البنفسجية لإزالة الملوثات المتطايرة وشبه المتطايرة.

تشمل تقنيات معالجة تركيزات تلوث المرحلة الذائبة التالي:

١- تقييم مخاطرة الكشف على الإنسان والبيئة وتحديد خطط العمل التصحيحي المعتمد على المخاطرة (IPCB 2001) (RBCA).

٢- المعالجة عن طريق الإضعاف الطبيعي بما فيها مراقبة تقدم الإضعاف الطبيعي.

obeikandl.com

٣- التحلل الحيوي المتسارع لملوثات المرحلة الذائبة باستخدام أنواع مختلفة من العوامل المساعدة.

٤- الحدود المنفذة (مثل، نظام مصارف الغاز والبوابة باستخدام برادة الحديد) لمصرف غاز المياه الجوفية المتأثر لتحديد مساحة المعالجة.

٥- نظام الضخ والمعالجة لاستخراج المياه الجوفية الملوثة للمعالجة والتخلص منها.

٦- تؤخذ العوامل التالية في الاعتبار عند اختيار طرق المعالجة:

- مصدر وطبيعة المواد الملوثة.
- الخصائص الفيزيائية وموضع الموقع.
- استخدام منطقة المياه القريبة لمثل هذه الأغراض كمصدر للمياه، والملاحة، والترفيه، والصناعة، وتصرف البلدية، أو مجموعة من هذه الأمور.
- جودة وكمية الرواسب الملوثة.
- الخواص الفيزيائية للرواسب أو للتربة (مثل، نعومة الحبيبات أو خشونة الحبيبات).
- محتوى المادة العضوية في الرواسب أو التربة.
- محتوى الماء في المكان في الرواسب أو التربة.
- إتاحة الحركة والإتاحة البيولوجية للمواد الملوثة في الرواسب أو التربة (مثل، أحوال تركيز أيون الهيدروجين المنخفضة أو العالية).
- ملوحة الرواسب (التنقية) والمياه. والمنقي هو ماء يتم الحصول عليه من صرف الرواسب المشبعة/ المنغمرة.
- المحتوى الكبريتي في الرواسب أو التربة.

- كمية ونوع الكاتيونات والأنيونات.
- كمية الحديد والمنجنيز النشط المحتملة في الرواسب أو التربة.
- خصائص المواد الملوثة (مثل، الميل إلى الامتصاص في جزئ الراسب أو الذوبان في الماء).
- الخصائص الكيميائية والمدى ثلاثي الأبعاد لتركيز المياه الجوفية الملوثة.
- الخصائص الهيدرولوجية للوحدات حيث تقع أعلى تركيزات للمياه الملوثة.

obeikandl.com


obeikandl.com

المراجع

References

Abramowitz, M., and IA. Stegun (1972). Handbook of mathematical functions, Dover, New York, 1,046 pp.

Abt, S.R., J.F. Ruff, and R.J. Wittier (1991). "Estimating flow through riprap." J. Hydraul Eng., 117(5), 670-675.

Adams, E.E. (1982). "Dilution analysis for unidirectional diffusers."J. Hydr. Div., 108(HY3), 327-342.

ASCE (1959). "Time of concentration for overland flow." Civil Engineering, March 1959.

ASCE (1976). "Design and construction of sanitary and storm sewers." ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 37, New York, 332 pp.

ASCE (1988). Evaluation procedures for hydrologic safety of dams, New York, 95 pp.

ASCE (1989). Civil engineering guidelines for planning and designing hydroelectric developments, New York.

ASCE (1996). "Hydrology handbook." ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 28, 2d Ed., New York, 784 pp.

Anderson, M.P., and W.W.Woessner (1992). Applied groundwater modeling Academic, San Diego, 381 pp.

ASTM (1995). "Standard guide for risk-based corrective action applied at petroleum release sites." EI 1739-95, West Conshohocken, Pa., 51 pp.

Avon, L., and T.J. Durbin (1994). "Evaluation of die Maxey-Eakin method for estimating recharge to ground-water basins in Nevada." Water Resources Bulletin, 30(1), Feb. 1994,99-111.

Baehr, A.T. (1987). "Selective transport of hydrocarbons in the unsaturated zone due to aqueous and vapor phase partitioning." Water Resources Research, 23(10), 1923-1938.

Bair, E.S., A.E. Springer, and G.S. Roadcap (1992). "An analytical flow model for simulating confined, leaky confined, or unconfined flow to wells with superposition of regional water levels." CAPZONE, IGWMC, Colorado School of Mines, Golden, Colo.

Bansal, M.K. (1971). "Dispersion in natural streams."/. Hydr. Div., 97(HY11), 1867-1886.

Barfield, B.J., R.C. Warner, and C.T. Haan (1981). Applied hydrology and sedimentology for disturbed areas, Oklahoma Technical, Stillwater, Okla., 603 pp.

Batu, V. (1998). Aquifer hydraulics: A comprehensive guide to hydrogeologic data analysis, Wiley, New York, 727 pp.

Bear, J. (1979). Hydraulics of groundwater, McGraw-Hill, New York, 569 pp.

Bouwer, H., and R.C. Rice (1976). "A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells." Water Resources Research, 12(3), 423-428.

Bouwer, H. (1989). "The Bouwer and Rice slug test—an update." Ground Water, 27(3), May-June 1989, 304-309.

Bouwer, H..J.T. Back, and J.M. Oliver (1999). "Predicting infiltration and ground-water mounds for artificial recharge."J. Hydrol. Eng., 4(4), 350-357.

Bradley, C., and D.J. Gilvear (2000). "Saturated and unsaturated flow dynamics in a floodplain wetland." Hydrological Processes, 14(16-17), Nov.-Dec. 2000, 2945-2958.

Bras, R.L. (1990). Hydrology, an introduction to hydrologic science, Addison-Wesley, Reading, Mass., 643 pp.

Brater, E.F., H.W. King, J.E. Lindell, and C.Y. Wei (1996). Handbook of hydraulics, McGraw-Hill, New York.

Brooks, R.H. and A.T. Corey (1964). "Hydraulic properties of porous media." Hydrology Papers, No. 3, Colorado State University, Fort Collins, Colo.

Campbell, D.B., and P.C. Johnson (1984). "RCC dam incorporates innovative hydraulic features." Water resources development: Proc. of the conf. of the Hydraulics Div., August 14-17, 1984,138-142.

CAP (2001). "Culvert Analysis Program." http://www.waterengr.com/ freeprog.htm.

Carslaw, H.S., and j.C. Jaeger (1984). Conduction of heat in solids, Oxford Univ. Press, New York, 510 pp.

Central Board of Irrigation and Power (CBIP) (1971). "Manual on river behavior control and training." Publication No. 40, New Delhi, India, 432 pp.

Chamani, M.R., and N. Rajaratnam (1994). "Jet flow on stepped spillways,"J. Hydraulic. Eng., 120(2), 254-259.

Chanson, H. (1994). "Comparison of energy dissipation between nappe and skimming flow regimes on stepped chutes."J. Hydraulic Research, 32(2), 213-218.

Chapra, S.C. (1997). Surface water-quality modeling, McGraw-Hill, New York, 844 pp.

Charbeneau, RJ. (2000). Groundwater hydraulics and pollutant transport, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 593 pp.

Chin, D.A. (1985). "Outfall dilution: The role of afar-field model."J. Environ. Eng., 111(4), 473-486.

Chow, V.T. (1959). Open-channel hydraulics, McGraw-Hill, New York, 680 pp.

Chow, V.T., ed. (1964). Handbook of applied hydrology, McGraw-Hill, New York.

Coastal Engineering Research Center (CERC) (1984). Shore protection manual Dept of the Army, Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.

Code of Federal Regulations 18 (CFR 18) (1999). Chapter 1, Conservation of Power and Water Resources, and Part 380, Regulations Implementing the National Environmental Policy Act, Office of the Federal Register, National Archives and Records Admin., U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

Code of Federal Regulations 18 (CFR 18) (1999). Chapter 1, Federal Energy Regulatory Comm., U.S. Dept. of Energy, Washington, D.C.

Code of Federal Regulations 40 (CFR 40), Part 1500 (1999). Office of the Federal Register, National Archives and Records Admin., U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

Cooper, H.H..J.D. Bredehoeft, and I.S. Papadopulos (1967). "Response of a finite-diameter well to an instantaneous charge of water." *Water Resources Research,* 3(1), 1st qtr. 1967, 263-269.

Creager, W.D., and J.D.Justin (1950). *Hydroelectric handbook,* Wiley, New York.

Crippen, J.R. (1982). "Envelope curves for extreme flood events." *J. Hydr. Div.,* 108(HY10), 1208-1212.

Dalton, F.E., and R.S. La Russo (1979). "Chicago's TARP solves problems in big way." *Water & Wastes Engineering,* Technical Publishing Co.

Davis, C.V., and K.E. Sorensen, eds. (1970). *Handbook of applied hydraulics,* McGraw-Hill, New York.

Delleur, J.W. (1999). *The handbook of groundwater engineering,* CRC, Boca Raton, Fla.

Domenico, PA., and G.A. Robbins (1985). "A new method of contaminant plume analysis." *Ground Water,* 23(4), 476-485.

Domenico, PA, (1987). "An analytical model for multidimensional transport of a decaying contaminant species."J. *Hydrology,* 91, 49-58.

Domenico, PA., and F.W. Schwartz (1998). *Physical and chemical hydrogeology,* 2d Ed., Wiley, New York, 506 pp.

Donovan, D.J., and T. Katzer (2000). "Hydrologic implications of greater ground-water recharge to Las Vegas Valley, Nevada." *JAWRA,* 36(5), Oct. 2000, 1133-1148.

Dragun, J. (1988). "The soil chemistry of hazardous materials." *Hazardous Materials Control Research Institute,* Greenbelt, Md.

Driscoll, F.G. (1989). *Groundwater and wells,* 2d Ed., Johnston Filtration Systems, Inc., St. Paul, Minn., 1,089 pp.

Duffield, G.M., and J.O. Rumbaugh (1989). "Aquifer test solver, AQTESOLV." Geraghty & Miller, Inc., Reston, Va., 134 pp.

Eheart, J.W., AJ. Wildermufh, and E.E. Herricks (1999). "The effects of climate change and irrigation on criterion low stream flows used for determining total maximum daily *loads." JAWRA,* 35(6), Dec. 1999, 1365-1372.

Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1993). "Flood insurance study guidelines and specifications for study contractors." *FEMA 37,* Washington, D.C.

Fetter, C.W. (1999). *Contaminant hydrogeology,* 2d Ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 500 pp.

Fetter, C.W. (2001). *Applied hydrogeology,* 4th Ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 598 pp.

Fiering, M.B., and B.B. Jackson (1971). "Synthetic stream flows." *Water Resources Monograph 1,* American Geophysical Union, Washington, D.C, 98 pp.

Fischer, H.B.J.E. List, R.C.Y. Koh,J. Imberger, and N.H.Brooks (1979). *Mixing in inland and coastal waters,* Academic, New York, 483 pp.

Foster, G.R., K.G. Renard, D.C. Yoder, D.K. McCool, and G.A. Weesies (1996). *RUSLE user's guide.* Soil and Water Conservation Soc, 173 pp.

Fread, DX. (1988). "The NWS DAMBRK model." Hydrologic Research Lab., Office of Hydrology, National Weather Service, NOAA, Silver Spring, Md.

Freeze, R.A., and J A Cherry (1979). *Groundwater,* Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 604 pp.

Gale Research Co. (1985). *Climates of the states.* Volumes 1 and 2, Book Tower, Detroit, Mich., 1,572 pp.

Gerbert, W.A., D.J. Graczyk, and W.R. Drug (1989). *Average annual runoff in the United States, 1951-1980,* Hydrologic Investigations Atlas, U.S. Geological Survey, Reston, Va.

Glover, R.E. (1985). *Transient ground water hydraulics.* Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colo.

Golze, A.R., ed. (1977). *Handbook of dam engineering,* Van Nostrand Reinhold, New York, 793 pp.

Graf, J.B. (1995). "Measured and predicted velocity and longitudinal dispersion at steady and unsteady flow, Colorado River, Glen Canyon Dam to Lake Mead." *Water Resources Bulletin,* 31(2), 265-281.

Haan, C.T. (1977). *Statistical methods in hydrology,* Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa, 378 pp.

Hampton, D.R. (1990). "Monitoring of free products in wells: Purposes and pitfalls." *4th national outdoor action conf. on aquifer restoration, ground water monitoring and geophysical methods,* Assoc, of Ground Water Scientists and Engineers & U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, Nev., May 14-17.

Hawkins, R.H., A.T. Hjelmfelt, and A.W. Zevenbergen (1985). "Runoff probability, storm depth, and curve numbers."J. *Irrig. Drain. Div.,* 111(4), Dec. 1985, 330-340.

Hershfield, D.M. (1961). "Rainfall frequency atlas of the United States." *Technical Paper No. 40,* U.S. Dept. of Commerce, Weather Bureau, Washington, D.C, 115 pp.

Huff, F.A., and J.R. Angel (1989). "Frequency distributions and hydro climatic characteristics of heavy rainstorms in Illinois." *ISWS/BUL-70/89,* Illinois State Water Survey, Champaign, 111., 177 pp.

Hutcheson, M.R. (1998). "Implementation of acute criteria for conservative substances." *JAWRA,* 34(5), 1025-1033.

Illinois Pollution Control Board (IPCB) (2001). "Tiered Approach to Corrective Action Objectives (TACO)." *35 III. Adm. Code Part 742-R97-12(A),* Bureau of Land, Springfield, 111.

Javandel, I., and C.F. Tsang (1986). "Capture-zone type curves: A tool for aquifer cleanup." *Ground Water,* 24(5), Sep.-Oct. 1986, 616-625.

Johnson, P.C, C.C. Stanley, M.W. Kemblowski, D.L. Buyers, and J.D. Colthart (1990). "A practical approach to the design, operation, and monitoring of in-situ soil-venting systems." *Ground Water Monitoring Review,* 10(2), 159—178.

Johnson, T.L. (1999). "Design of erosion protection for long-term stabilization." *NUREG-1623, draft report,* U.S. Nuclear Regulatory Comm., Washington, D.C.

KYPIPE2 and KYPIPE3 (1992). *Hydraulic network analysis program,* Civil Engineering Software Center, Univ. of Kentucky, Lexington, Ky.

Leps, T.M. (1973). *flow through rockfiU, in embankment-dam engineering,* R.C. Hirschfeld and S.J. Poulos, eds., Wiley, New York, 87-107.

Levy, B., and R. McCuen (1999). "Assessment of storm duration for hydrologic design" J. *Hydrol Eng.,* 4(3), 209-213.

Linsley, R.K., J.B. Franzini, D.L. Freyberg, and G. Tchobanoglous (1992). *Water-resources engineering,* 4th Ed., McGraw-Hill, New York, 841 pp.

Long, J.C.S., and P A. Witherspoon (1985). "The relationship of the degree of interconnection to permeability in fracture networks." J. *Geophysical Research,* 90(B4), March 10,1985, 3087-3098.

Long, J.C.S., J.S. Remer, C.R. Wilson, and PA Witherspoon (1982). "Porous media equivalents for networks of discontinuous fractures." *Water Resources Research,* 18(3),June 1982, 645-658.

Low, H.S. (1989). "Effect of sediment density on bed-load transport." *J. Hydraul Eng.,* 115(1), 124-138.

Lyman, W.J., W.F. Reehl, and D.H. Rosenblatt (1984). *Handbook of chemical property estimation methods,* McGraw-Hill, New York.

Maidment, D.R., ed. (1993). *Handbook of hydrology,* McGraw-Hill, New York, 1,404 pp.

Martin, J.L., and S.C. McCutcheon (1999). *Hydrodynamics and transport for water quality modeling,* CRC, Boca Raton, Fla., 794 pp.

Maynord, S.T., J.F. Ruff, and S.R. Abt (1989). "Riprap design." J. *Hydraul Eng.,* 115(7), 937-949.

Mays, L.W., ed. (1999). *Hydraulic design handbook,* McGraw-Hill, New York.

McCuen, R.H.M., S.L.Wong, and W.J. Rawls (1984). "Estimating urban time of concentration."J. *Hydraul. Eng.,* 110(7), 887-904.

McCuen, R.H.M. (1998). *Hydrologic analysis and design,* 2d Ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 814 pp.

Miller, J.F. (1963). *Probable maximum precipitation and rainfall frequency data for Alaska,* U.S. Dept. of Commerce, Weather Bureau, Washington, D.C.

Monsonyi, E. (1963). *Water power development,* Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary.

Muellenhoff, W.P., AM. Soldate, D.J. Baumgartner, M.D. Schuldt, L.R. Davis, and W.E. Frick (1985). "Initial mixing characteristics of municipal ocean discharges." *EPA/600/3-85/073,* U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

National Bureau of Standards (NBS) (1972). "American national standard, building code requirements for minimum design loads in buildings and other structures." *ANSI, A58.1-1972.*

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (1973). *Precipitation-frequency atlas of the western United States,* NOAA Atlas 2, Volumes I to XI, Silver Spring, Md.

National Research Council (NRC) (1985). *Safety of dams, flood and earthquake criteria,* National Academic Press, Washington, D.C., 321 pp.

National Resources Conservation Service (NRCS) (1996). *State of the land for the Northern Plains region,* Northern Plains Regional Office, Lincoln, Neb.

National Weather Service (NWS) (1998). *National Weather Service River Forecast System (NWSRFS) model, user's manual,* Office of Hydrology, National Weather Service, Silver Spring, Md. (www.nws.noaa.gov/oh/hrl/ nwsrfs/users_manual).

Nelson, J.D., S.R. Abt, R.L. Volpe, D. Van Zyl, N.E. Hinkle, and W.P, Straub (1986). "Methodologies for evaluating long-term stabilization of uranium mill tailings impoundments." *NUREG/CR-4620, ORNL/TM-10067,* for U.S. Nuclear Regulatory Coram., Washington, D.C., 145 pp.

Ojima, D., L. Garcia, E. Elgaali, K. Miller, T.G.F. Kittel, and J. Lackett (1999). "Potential climate change impacts on water resources in the great *plains." JAWRA,* 35(6), Dec. 1999,1443-1454.

Pankow, J.F., andJ.A. Cherry (1996). *Dense chlorinated solvents and other DNAPLs in groundwater: History, behavior, and remediation,* Waterloo, Portland, Ore., 522 pp.

Peterka, AJ. (1958, 1978). "Hydraulic design of stilling basins and energy dissipaters." *Engineering Monograph No. 25,* U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Colo., 222 pp.

Pinder, G.F., J.D. Bredehoeft, and H.H. Cooper (1969). "Determination of aquifer diffusivity from aquifer response to fluctuations in river stages." *Water Resources Research,* 5(4), Aug. 1969, 850-855.

Ponce, V.M. (1989). *Engineering hydrology, principles and practices,* Prentice Hall, Engle-wood Cliffs, N.J., 640 pp.

Potter, M.C., and D.C. Wiggert (1991). *Mechanics of fluids,* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 692 pp.

Prakash, A., and G. Dearth (1990). "Stream flow simulation using deterministic model."/. *Irrigation and Drainage Engineering,* 116(4), July/Aug. 1990, 566-580.

Prakash, A. (1977). "Convective-dispersion in perennial streams." *J. Environ. Eng.,* 103 (EE2), 321-340.

Prakash, A. (1978). "Optimal sequence of incremental precipitation." J. *Hydr. Div.,* 104(HY12), Dec. 1978, 1668-1671.

Prakash, A. (1982). "Groundwater contamination due to vanishing and finite size continuous sources." J. *Hydr. Div.,* 108(4), 572-590.

Prakash, A. (1983). "Deterministic and probabilistic perspectives of the PMF." *Proc. of the conf. on frontiers in hydraulic engineering,* ASCE/MIT, Cambridge, Mass., August 9-12, 1983, 535-540.

Prakash, A. (1984). "Groundwater contamination due to transient sources of pollution."J. *Hydraul. Eng.,* 110(11), 1642-1658.

Prakash, A. (1987). "Current state of hydrologic modeling and its limitations." *Rood hydrology,* V.P. Singh, ed., Reidel, Dordrecht, The Netherlands, 1-16.

Prakash, A. (1991). "Evaluation of rehabilitation alternatives for small hydropower plants." *Water Power 91,* 1884-1893.

Prakash, A (1992a). "Implications of design uncertainty in benefit-cost analysis." *Water Forum 92,* New York.

Prakash, A. (1992b). "Design basis flood for rehabilitation of existing dams." J. *Hydraul. Eng,* 118(2), 291-305.

Prakash, A. (1995). "Analysis of hydraulic barriers for ground water in stream-aquifer systems." *Proc. of the int. symp. on groundwater management,* San Antonio, Tex., August 14-16, 1995, 337-342.

Prakash, A. (1996). "Desorption of soil contaminants due to rainwater infiltration." J. *Hydraul Eng,* 122(9), 523-525.

Prakash, A. (1997). "Estimating diffusivity of aquifers with sloping water tables." *Proc. of the 27th congress of the Int. Assoc, for Hydraulic Research,* San Francisco, Calif., August 10-15,1997,15-20.

Prakash, A (1999). "Risk-based analysis of remediation requirements." *Proc. of the int. water resources engineering conf,* Seattle, Wash., August 8-12, 1999.

Prakash, A. (2000a). "Analytical modeling of contaminant transport through vadose and saturated soil zones." J. *Hydraul. Eng,* 126(10), 773-777.

Prakash, A (2000b). "Evaluation of bank protection methods." *Proc. of ASCE's joint conf. on water resources engineering and water resources planning and management,* Minneapolis, Minn., July 30-August 2, 2000.

Prakash, A (2002). "Environmental issues of construction and demolition of dams." *Proc. Of EWRI/ASCE conf on managing water resources extremes, Water Resources Planning and Management Council,* Roanoke, Va., May 19-22, 2002.

Quimpo, R.G. (1968). "Stochastic analysis of daily river flows."J. *Hydr. Div.,* 94(HY1), Jan.1968, 43-57.

Rai, D., andJ.M. Zachara (1984). "Chemical attenuation rates, coefficients, and constants in leach ate migration." Battelle, Pacific Northwest Lab., Richland, Wash.

Renard, K.G., G.R. Foster, GA. Weesies, and J.P. Porter (1991). "RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation."J. *Soil Water Conservation,* 46(1), 30-33.

Rouse, H. (1950). *Engineering hydraulics,* Wiley, New York, 1,039 pp.

Seo, I.W., and T.S. Cheong (1995). "Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams." J. *Hydraul Eng.,* 124(1), 25-31.

Simons, D.B., and F. Senturk (1976, 1992). *Sediment transport technology,* Water Resources Publications, Fort Collins, Colo., 919 pp.

Simons, D.B., R.M. Li, and W.T. Fullerton (1981). "Theoretically derived sediment transport equations for Pima County, Arizona." Prepared for Pima County DOT and Flood Control District, Ariz.

Singh, B. (1967). *Fundamentals of irrigation engineering* Nem Chand & Bros., Roorkee, India, 532 pp.

Soil Conservation Service (SCS) (1954). "Handbook of channel design for soil and water conservation." *SCS-TP-61,* Stillwater Outdoor Hydraulic Lab., Stillwater, Okla.

Soil Conservation Service (SCS) (1978). *Water management and sediment control for urbanizing areas,* Columbus, Ohio.

Sorensen, R.M. (1985). "Stepped spillway hydraulic model investigation."J. *Hydraul. Eng.,* 111(12), 1461-1472.

Spurr, WA, and C.P. Bonini (1973). *Statistical analysis for business decisions,* Richard D. Irwin, Inc., Homewood, 111., 724 pp.

Streeter, V.L. (1971). *Fluid mechanics,* McGraw-Hill, New York, 751 pp.

Sudicky, E.A, and R. Therien (1999). *Variably-saturated groundwater flow and transport in discretely fractured porous media, FRAC3DVS,* Waterloo Hydrogeologic, Inc., Waterloo, Ont., Canada.

Sudicky, E A (1988). *Parallel crack model, CRAFLUSH,* Waterloo Center of Groundwater Research, Univ. of Waterloo, Waterloo, Ont., Canada.

SURGE5 (1996). Civil Engineering Software Center, Univ. of Kentucky, Lexington, Ky.

Swamee, P.K., and AK. Jain (1976). "Explicit equations for pipe-flow problems." J. *Hydr. Div.,* 102(HY5), May 1976.

Tchobanoglous, G., and F.L. Burton (1991). *Wastewater engineering, treatment, disposal, and reuse,* McGraw-Hill, New York, 1,334 pp.

Texas Commission on Environmental Quality (TGEQ) (2002). *Guidelines for preparation of environmental, social, and economic impacts statements,* TCEQ Rules, Chapter 261, Austin, Tex. (www.tnrcc.state.us/ oprd/rules).

Thompson, J.R. (1964). "Quantitative effect of watershed variables on the rate of gully head advancement." *Transactions, American Society of Agricultural Engineers,* 7(1), St. Joseph, Mich., 54-55.

Todd, D.K. (1980). *Ground water hydrology, Wiley,* New York, 535 pp.

Tschantz, BA., and R.M. Mojib (1981). "Application of and guidelines for using available dam break models." *Water Resources Research Center,* Univ. of Tennessee, Knoxville, Tenn., 84 pp.

Tullis, J.P., N. Amanian, and D. Waldron (1995). "Design of labyrinth spillways." J. *Hydraul. Eng.,* 121(3), 247-255.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1960). "Routing of floods through river channel." *EM-U10-2-1408,* Washington, D.C.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1970, 1994). "Hydraulic design of flood control channels." *EM-1110-2-1601,* Washington, D.C.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1971a). *Monthly stream flow simulation, HEG-4, user's manual,* Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1971b). "Dewatering and groundwater control for deep excavations." *Technical Manual No. 5-818-5,* Washington, D.C.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1974). *Dimensionless graphs of floods from ruptured dams.* Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif., 60 pp.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1977). "Guidelines for calculating and routing a dam-break flood." *Research Note No. 5,* Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.

U.S. Army Corps of Engineers (USAGE) (1978). *Water Quality for River-Reservoir Systems (WQRRS),* Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif., 288 pp.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1979). "Feasibility studies for small scale hydropower additions." *DOE/RA-0048,* Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1981). *Reservoir system analysis for conservation, HEG3,* Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1982). *Simulation offload control and conservation systems, HEC-5,* Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1984). *Shore protection manual, volumes I and II,* Coastal Engineering Research Center, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1985). "Hydropower engineering manual." *EM-1110-2-1701,* Engineering Design, Washington, D.C.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1986). *Stream flow Synthesis and Reservoir Regulation (SSAR).* U.S. Army Engineer Div., North Pacific, Portland, Ore.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1989). "Sedimentation investigation of rivers and reservoirs." *EM-1100-2-4000,* Engineering Design, Washington, D.C.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1991a). *Hood hydrograph package, HEC-1, user's manual,* Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1991b). *Simulation of flood control and conservation systems, HEC-5, user's manual,* Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1991c). *Surface water profiles, HEe.2,* Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1991d). *Scour and deposition in rivers and reservoirs, HEC-6,* Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.

U.S. Army Corps of Engineers (USAGE) (1992). *Interior Flood Hydrology package, HEC-IFH,* Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1994). "Hydraulic design of flood control channels." *EM-1110-2-1601,* Washington, D.C.

U.S. Army Corps of Engineers (USAGE) (1995). *HEC Flood flow Frequency Analysis, HEC-FFA,* Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1998). *River Analysis System HEC-HMS,* Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1999). *Engineer regulations, civil works, environmental compliance assessments and environmental management program planning* (www.usace.anny.mil/inet/usace-docs/eng-regs/), Washington, *D.C.*

U.S. Army Corps of Engineers (USAGE) (2002). *Hydrologic Modeling System, HEC-HMS,* Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.

U.S. Army Engineer Research and Development Center (USAERDC) (2003). *Effect of riprap on riverine and riparian ecosystems,* Vicksburg, Miss.

U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station (VSAEWES) (1977). *Hydraulic design criteria,* Vicksburg, Miss.

U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station (USAEWES) (1983). *Techniques for reaeration of hydropower releases,* Technical Report E-83-5, Vicksburg, Miss.

U.S. Bureau of Reclamation (USBR) (1966). "Effect of snow compaction on runoff from rain on snow." *Engineering Monograph No.* 35, Denver, Colo.

U.S. Bureau of Reclamation (USBR) (1971). *A prcJaldure to determine sediment deposition in a settling basin.* Denver, Colo., 8 pp.

U.S. Bureau of Reclamation (USBR) (1977). *Design of small dams,* Denver, Colo., Second edition (revised reprint), 816 pp.

U.S. Bureau of Reclamation (USBR) (1978). *Design of small canal structures,* Denver, Colo., 435 pp.

U.s. Bureau of Reclamation (USBR) (1984). *Computing degradation and local scour,* Denver, Colo., 48 pp.

U.S. Bureau of Reclamation (USBR) (1987). *Design of small dams,* Denver, Colo., Third edition, 860 pp.

U.S. Dept. of Agriculture (USDA) (1959). "The SAF stilling basin." *Agriculture Handbook No.* 156, Agriculture Research Service, St. Anthony Falls Hydraulics Lab., Minneapolis, Minn., 16 pp.

U.S. Dept. of Agriculture (USDA) (1966). "Procedures for determining rates of land damage, land depreciation, and volume of sediment produced by gully erosion." *Technical Release No.* 32, *Geology,* Soil Conservation Service.

U.S. Dept. of Agriculture (USDA) (1969). "Summary of reservoir sediment deposition." *Misc. Pub. No.* 1143, Agricultural Research Service, 64 pp.

U.S. Dept. of Agriculture (USDA)(1972,1985). *National engineering handbook, section 4, hydrology,* Soil Conservation Service, Washington, D.C.

U.S. Dept. of Agriculture (USDA) (1976). "A Water Surface Profile computer program for determining flood elevation and flood areas for certain flow rates, WSP2." *Technical Release No.* 61, Soil Conservation Service, Washington, D.C.

U.S. Dept. of Agriculture (USDA) (1977). "Design of open channels." *Technical Release No.* 25, Oct. 1977, Soil Conservation Service, Washington, D.C.

U.S. Dept. of Agric1,11ture (USDA) (1981). "Simplified dam-breach routing procedure." *Technical Release No.* 66, Design Unit, Soil Conservation Service, Washington, D.C.

U.S. Dept. of Agriculture (USDA) (1982). *Wind erosion equation, technical notes.* Resource Conservation Planning-"-'VY-2. Soil Conservation Service, Casper, Wyo.

U.S. Dept. of Agriculture (USDA) (1983a). "Computer program for project formulation hydrology." *Technical Release 20,* Soil Conservation Service, Washington, D.C.

U.S. Dept of Agriculture (USDA) (1983b). "Colorado wind erosion guide." *Agronomy Technical Note* 53, Soil Conservation Service, Denver, Colo.

U.S. Dept. of Agriculture (USDA) (1986). "Urban hydrology for small watersheds." *Technical &lease* 55, Soil Conservation Service, Washington D.C.

U.S. Dept. of Commerce (USDOC) (1961). "Generalized estimates of probable maximum precipitation and rainfall frequency data for Puerto Rico and Virgin Islands." *Technical Paper No.* 42, Washington, D.C.

U.S. Dept. of Commerce (USDOC) (1962). "Rainfall-frequency atlas of the Hawaiian Islands." *Weather Bureau Technical Paper No.* 43, Washington, D.C.

U.S. Dept. of Commerce (USDOC) (1965). "Probable maximum and 1V A precipitation over the Tennessee River Basin above Chattanooga." *Hydro meteorological Report No.* 41, Washington, D.C.

U.s. Dept. of Commerce (USDOC) (1969). "Interim report, probable maximum precipitation in California." *Hydro meteorological Report No.* 36, Washington, D.C.

U.S. Dept. of Commerce (USDOC) (1977). "Probable maximum precipitation estimates, Colorado River and Great Basin drainages." *Hydro meteorological Report No.* 49, Silver Spring, Md.

U.S. Dept. of Commerce (USDOC) (1978). "Probable maximum precipitation estimates, United States east of the 105th Meridian." *Hydro meteorological Report No.* 51, Washington, D.C.

U.S. Dept. of Commerce (USDOC) (1982). "Application of probable maximum precipitation estimates, United States east of the 105th Meridian." *Hydro meteorological Report No.* 52, Silver Spring, Md.

U.S. Dept. of Commerce (USDOC) (1983). "Probable maximum precipitation and snowmelt criteria for southeast Alaska." *Hydro meteorological Report No.* 54, Silver Spring, Md.

U.S. Dept. of Commerce (USDOC) (1988). "Probable maximum precipitation estimates, United States between the Continental Divide and the 103rd Meridian." *Hydro meteorological Report No. 55A,* Silver Spring, Md.

U.S. Dept. of Commerce (USDOC) (1994). "Probable maximum precipitation, Pacific Northwest states." *Hydro meteorological Report No.* 57, Silver Spring, Md.

U.s. Environmental Protection Agency (USEPA) Region VIII and U.S. Dept. of Agriculture (USDA) (1977). "Preliminary guidance for estimating erosion on areas disturbed by surface mining activities in the interior Western United States, interim final report," *EPA-908/4-77-005.*

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1980). "An approach to water resources evaluation of non.point silvicultural sources." *EPA-600/8.80-fJ12,* Environmental Research Lab., Athens, Ga.

U.S. Environmental Protection Agency (USEP A) (1985). "Water quality assessment. a screening procedure for toxic and conventional pollutants in surface and ground water" Part I, *EPA/600/6-85/002a,* and Part II, *EPA/600/6-85/002b,* Environmental Research Lab., Athens, Ga.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1987a). "The Enhanced Stream Water Quality Models, QUAL2E and QUAL2E UNCAS." *EPA/600/3-87/007,* Environmental Research Lab., Athens, Ga.

U.S. Environmental Protection Agency (USEP A) (1987b). "Diffusion in near-shore and riverine environments." *EPA 91019-87.168,* Region 10.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1988a). "Superfund exposure assessment manual." *EPA/540/1-88/001.*

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1988b). "A hydrodynamic and water quality model, WASP4." *EPA/600/3-86/034,* Environmental Research Lab., Athens, Ga.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1989a). *Storm Water Management Model, SWMM.* Environmental Protection Technology Series, Washington, D.C.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1989b). "Guidelines for conducting remedial investigations and feasibility studies under CERCLA." *EPA/540/ G-89/004,* Office of Emergency and Remedial Response, Washington, D.C.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1989c). *Statistical analysis of groundwater monitoring data at RCRA facilities, interim final guidance,* Office of Solid Waste, Waste Management Div., Washington, D.C.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1991a). *Hydrologic Simulation Program-Fortran (HSPF),* Environmental Research Lab., Office of Research and Development, Athens, Ga.

U.S. Environmental Protection Agency (USEP A) (1991 b). *Guidance for water quality-based decisions: The TMDL process,* Office of Water, Washington, D.C.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1991c). "Technical support document for water quality.based toxics control." *EPA/505/2-90-001, PB 91-127415,* Office of Water, Washington, D.C.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1991d). *Guidance manual for the preparation fj NPDES permit applications for storm water discharges associated with industrial activity,* Office of Water Enforcement and Permits, Washington, D.C.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1992). *A Modular Three-Dimensional Transport Model (MT3D) for simulation oj advection, dispersion, and chemical reactions of contaminants in groundwater systems,* National Risk Management Research Lab., Ada, Okla.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1993). *Well Head Protection Area (WHPA) delineation code,* National Risk Management Research Lab., Ada, Okla.

U.S. Environmental Protection Agency (USEP A) (1994). *Dilution 1TWdels for effluent discharges, PLUMES,* Center for Exposure Assessment Modeling (CEAM), National Exposure Research Lab., Athens, Ga.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1995). *The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) mode..* Risk Reduction Engineering Lab., Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1996a). *A hydrodynamic mixing* zone *11KJde1 and decision support system for pollutant discharges into surface waters, CORMIX,* Center for Exposure Assessment Modeling (CEAM), National Exposure Research Lab., Athens, Ga.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1996b). *Multimedia Exposure Assessment Model (MULTIMED) for evaluating the land disposal of wastes,* Environmental Research Lab., Athens, Ga.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1996c). "Soil screening guidance, user's guide." *Publication* 9355.4-23, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C.

U.s. Environmental Protection Agency (USEPA) (1997). *BIOSCREEN,* National Risk Management Research Lab., Ada, Okla.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (2000). "Drinking water standards and health advisories." *EPA822-B-Oo..001,* Office of Water, Washington, D.C.

U.S. Geological Survey (USGS) (1983). "Precipitation-Runoff Modeling System (PRMS): User's manual," *Water &sources Investigations Report* 83-4238, Denver, Colo.

U.S. Geological Survey (USGS) (1994). "Nationwide summary of U.S. Geological Survey regional regression equations for estimating magnitude and frequency of floods for ungaged sites." 1993 *Water &sources Investigations Report 94-4002,* Reston, Va., 196 pp.

U.S. Geological Survey (USGS) (2000a). "Estimation of peak stream flows for unregulated rural streams in Kansas." *Water &sources Investigations &port 00-4079,* Lawrence, Kan., 33 pp.

U.S. Geological Survey (USGS) (2000b). *A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model: MODFLOW,* Reston, Va.

U.S. Nuclear Regulatory Commission (USNRC) (1976). "Estimating aquatic dispersion of effluents from accidental and routine reactor releases for the purpose of implementing Appendix I." *Regulatory Guide* 1.113, Washington, D.C.

U.S. Nuclear Regulatory Commission (USNRC) (1977). "Design basis floods for nuclear power plants." *Regulatory Guide* 1.59, Rev. 2, August 1977.

U.s. Nuclear Regulatory Commission (USNRC) (1982). "Literature review of models for estimating soil erosion and deposition from wind stresses on uranium mill tailings covers." *NUREG/CR-2768, PNL-4302.*

U.S. Water Resources Council (USWRC) (1981). "Guidelines for determining flood flow frequency." *Bulletin #17B,* Washington, D.C.

Valliappan, S., and N. K. Naghadeh (1991). "Flow through fractured media." *Computer methods and advances in geomechanics,* Beer, Becker and Carter, eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands.

Vanoni, V.A. (1977). "Sedimentation engineering." *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No.* 54, New York.

Vetter, C.P, (1940). "Technical aspects of the silt problem on the Colorado River." *Civil Engineering,* 10, Nov. 1940, pp. 698-701.

Watters, G.Z. (1984). *Analysis and control of unsteady flow in pipelines,* 2d Ed., Butterworth, Stoneham, Mass., 349 pp.

Weast, R.C., ed. (1987). *CRC handbook of chemistry and physics.* 68th Ed., CRC, Boca Raton, Fla. -

Wenzel, L.K. (1942), "Methods of determining permeability of water bearing materials, with special reference to discharging well methods." *U.S. Geological Survey Water Supply Paper* 887, Washington, D.C.

West Consultants, Inc. (1996). *Riprap design system,* Carlsbad, Calif., 72 pp. Williams, J.R. (1975). "Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor." *USDA-ARS, S-40,* U.S Dept. of Agriculture, Washington, D.C., 244-252.

Wilson, B.N., BJ. Barfield, and LD. Moore (1984). *A hydrology and sedimentology watershed model, SEDIMOT II,* Dept. of Agricultural Engineering, Univ. of Kentucky, Lexington, Ky.

Wood, I.R., and T. Liang (1989). "Dispersion in an open channel 'With a step in the cross section," *J Hydraulic Research, 27(5).*

World Bank (WB) (1996). *Monitoring and evaluation guidelines for World Bank-GEF into waters projects,* Washington, D.C.

World Bank (WB) (1998). *Environmental assessment source book,* Vols. I, II, III, Washington, D.C.

World Meteorological Organization (WMO) (1986). "Manual for estimation of probable maximum precipitation." *operational Hydrology Report Number* 1, *VVMO Number* 332, Geneva, Switzerland, 269 pp.

Yevjevich, V. (1972a, 1997). *Probability and statistics in hydrology,* Water Resources Publications, Fort Collins, Colo., 302 pp.

Yevjevich, V. (1972b, 1982). *Stochastic processes in _hydrology,* Water Resources Publications, Fort Collins, Colo., 276 pp.

Young, M.F. (1982). "Feasibility study of a stepped spillway." *Proc. of the Hydr. Div. specialty conf,* Jackson, Miss., August 1982.

Zheng, C. (1990). *A modular three-dimensional transport model for simulation of advection, dispersion, and chemical reactions of contaminants in groundwater systems,* U.S. Environmental Protection Agency, Ada, Okla.

Zheng, C., and G.D. Bennett (2002). *Applied contaminant transport modeling,* 2d Ed., Wiley-Inter Science New York, 621 pp.

Zipparro, Vj., and H. Hansen, eds. (1993). Davis' handbook of applied hydraulics, McGraw-Hill, New York.

o o k a n d l . c o m


obeikandl.com

قائمة الاختصارات

List of abbreviations

7Q10	متوسط التدفق المنخفض في سبعة أيام خلال عشر سنوات
ARMZ	مناطق الخلط التنظيمي الحاد
ASCE	جمعية المهندسين المدنيين الأمريكية
BOD	مطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي
C	معامل شيزي
CCC	التركيز المستمر للمعايير
C_d	معامل التصرف
C_H	معامل هازن- ويليام
CMC	التركيز الأقصى للمعايير
CN	رقم المنحنى
CRMZ	مناطق الخلط التنظيمي المزمن
d_{90}	قطر الحبيبات التي تشكل ٩٠٪ من المادة
DAD	عمق-مساحة-مدة المطر
DNAPL	سوائل الطور غير المائي الثقيلة

obeikandl.com

الأكسجين المذاب	DO
معامل التشتت العرضي	D_y
معامل التشتت الرأسي	D_z
نسبة الفراغات	e
التقييم البيئي	EA
تقرير الأثر البيئي	EIR
بيان الأثر البيئي	EIS
إعداد بيان الأثر البيئي	EISs
وكالة حماية البيئة	EPA
مؤشرات الأداء البيئي	EPIs
رقم فرود	F
معامل الاحتكاك لدارسي–ويسباك	f
النظام الإنجليزي للوحدات	FPS
دراسات الجدوى	FS
معامل الالتواء	G
هيئة البيئة العالمية	GEF
نظام التشكيل الهيدرولوجي	HEC-HMS
برنامج المحاكاة الهيدرولوجي فورترن	HSPF
شدة–مدة–تكرار المطر	IDF
معامل الالتفاف	K
النفاذية أو النفاذية الذاتية	k

obeikandl.com

K	معامل التوصيل الهيدروليكي
K_a	معامل إعادة التهوية
K_H	ثابت قانون هنري
K_{oc}	معامل الكربون العضوي
L_{mix}	طول الخلط
LNAPL	سوائل الطور غير المائي الخفيفة
M&E	المراقبة والتقييم
MCL	أقصى مستويات تلوث
MUSLE	المعادلة العالمية المعدلة للفقد في التربة
n	معامل مانتق
NAPLs	سوائل الطور غير المائي
NEPA	بيان السياسة البيئية القومي
non-VOCs	مركبات عضوية قابلة للذوبان غير طيارة
NPDES	تصاريح النظام القومي لإزالة تصريف المواد الملوثة
NRCS	هيئة المحافظة على الموارد الطبيعية
P	الاحتمالية
PCE	إيثيلين الكلور الرباعي
pH	مستوى أيون الهيدروجين
PMF	أقصى فيضان محتمل
PMP	أقصى تساقط محتمل
PRMS	نظام تشكيل التساقط-الجريان السطحي

obeikandi.com

التصرف	Q
تصرف البئر المخترق كلياً	Q
تصرف البئر المخترق جزئياً	Q_p
رقم رينولد	R_e
التحري العلاجي	RI
المعالجة عن طريق الإضعاف الطبيعي	RNA
رقم ريتشاردسون	R_o
الانحراف القياسي	S
معامل التخزين	S
خدمة المحافظة على التربة	SCS
نسبة تسليم الرواسب	SDR
مؤشرات أداء الاقتصاديات الاجتماعية	SEIs
معامل الآمان	SF
النظام العالمي للوحدات	SI
السعة النوعية للبئر	S_p
درجة التشبع	S_r
التخزين النوعي	S_s
نموذج بناء تدفق المجرى المائي وتنظيم الخزان	SSARR
نظام التخزين والاستدعاء	STORET
الملوثات شبه المتطايرة	SVOC
مركبات عضوية شبه طيارة	SVOCs

obeikandl.com

الهبوط في سطح الماء بالبئر	S_w
نموذج إدارة مياه العاصفة	SWMM
الهبوط في سطح الماء بالبئر بسبب الاختراق الجزئي	S_{wp}
قابلية النقل	T
الزمن الحرج	t_c
إيثيلين الكلور الثلاثي	TCE
الطاقة الكلية	TEL
أقصى أحمال يومية كلية	TMDL
تحدد أقصى أحمال يومية كلية	TMDLs
هيئة مهندسي جيش الولايات المتحدة	USACE
هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية	USGS
المعادلة العالمية للفقد في التربة	USLE
الحجم الكلي للتربة	V
سرعة السريان	V
الحجم المشغول بالغاز أو الهواء بالتربة	V_g
الملوثات المتطايرة	VOC
مركبات عضوية قابلة للذوبان طيارة	VOCs
حجم حبيبات التربة	V_s
حجم الفراغات بالتربة	V_v
دالة البئر	W(u)
البنك الدولي	WB

obeikandl.com

وزن الحجر الذي قطره d مم	W_d
المتوسط	$\bar{X}$
العمق اللابعدي	ξ
معامل التحلل	λ
وحدة الوزن لحبيبات التربة	γ_s
وحدة الوزن الظاهرية الجافة للتربة	γ_d
وحدة الوزن الرطبة للتربة	γ_m
المسامية الكلية	φ
المحتوى المائي	ω
المحتوى المائي الحجمي	φ_w
الانخساف	δ
معامل التحلل	λ
أقصى إجهاد قص	τ_{max}

obeikandl.com

ثبت المصطلحات

أولاً: عربي - إنجليزي

أ

الآبار	wells
آبار الإنتاج	production wells
آبار المراقبة	monitoring wells
آبار الملاحظة	observation wells
الإبحار في الزوارق والقوارب	boating and canoeing
الأبنية الهيدروليكية	Hydraulic structures
الاتساع	expansion
الأثر البيئي	environmental impact
اجتماعية اقتصادية	socioeconomic
إجهاد القص	shear stress
أجهزة تشتيت الطاقة	energy dissipation devices

obeikandl.com

احتمال الزيادة	incremental probability
الاحتمالية	probability
أحجام أحجار الدكة	riprap sizes
أحمال الجليد	Snow Loads
الأحمال المعلقة	Suspended loads
أحواض الاحتجاز	Detention basins
أحواض الترسيب	sedimentation basin
أحواض الترسيب	Stilling Basins
الأحياء المائية	Aquatic biota
اختبار الضخ	pumping test
اختبارات الكتلة	Slug Tests
أخطاء التنبؤ	errors of prediction
الإدارة	management
أدنى تدفق (التدفق المنخفض)	Low flow
أدنى سرعة مسموح بها	minimum permissible velocity
ارتفاع الموجة	wave height
الإزالة	Removal
إزالة التلوث	Decontamination
أزمنة الإعاقة أو التخلف	Lag times
أزمنة التركيز	Concentration times
استدامة و تحسين	Sustainability and Enhancement

obeikandl.com

Slope Stability	استقرار الميل
Paved surfaces	الأسطح الممهدة
unpaved surfaces	الأسطح غير الممهدة
Land acquisition	إصلاح الأراضي
longest watercourse	أطول مسار للماء
Recharge by Precipitation	إعادة الملء (التغذية) نتيجة تساقط المطر
Induced Recharge	إعادة الملء المستحث
Report preparation	إعداد التقارير
Channelization	إقامة القنوات
maximum shear stress	أقصى إجهاد قص
potential maximum retention	أقصى احتباس محتمل
total maximum daily loads	أقصى أحمال يومية كلية
Peak flow	أقصى تدفق
probable maximum precipitation	أقصى تساقط محتمل
maximum permissible velocity	أقصى سرعة مسموح بها
probable maximum flood	أقصى فيضان محتمل
maximum contaminant levels	أقصى مستويات تلوث
dissolved oxygen	الأكسجين المذاب
oxidation/reduction	الأكسدة/ الاختزال
Historic Places	الأماكن التاريخية
adsorption/ desorption	الأمتزاز/ المج

obeikandl.com

الأمطار السنوية	Annual precipitation
أنبوب التنفيث	vent pipe
أنبوب السحب	Draft Tube
الإنتاجية الآمنة	Safe Yield
الإنتاجية النوعية	specific yield
الانتشار الغازي	Gaseous diffusion
انتقال الطور الغازي	Gas phase transport
انتقال الملوثات	Contaminant Transport
انتقالات القناة	Channel Transitions
انجراف التربة على المنحدرات	Soil Erosion on Slopes
الانجراف بسبب الرياح	Wind Erosion
الانجراف في مجرى السريان	Erosion in the watershed
الانحدارات الشديدة	Steep Slopes
الانحراف القياسي	Standard deviation
الانخساف	Subsidence
الانضغاطية	Dry bulk
الأنظمة البيئية الفريدة	unique ecosystems
انغمار المصطبة	crest submergence
أنف الحنية	nose groin
الأنواع المهددة بالانقراض	endangered species
الأهمية البيئية	environmental significance

opeikandl.com

ب

بئر اختبار	test well
البئر المخترق جزئياً	Partially Penetrating Well
بحيرات	Lakes
البخر	Evaporation
البخر نتح	Evapotranspiration
بدائل المشروع	Project Alternatives
البرابخ	culverts
براجيات	Software
البرك	Pools
بناء المدخل	intake structure
البنك الدولي	World Bank
البوابات	gates
بيان	Act
بيان الأثر البيئي	environmental impact statement
بيان السياسة البيئية القومي	National Environmental Policy Act

ت

التأفق	advection
التأفق الطولي	longitudinal advection
تأمين الفيضان	flood insurance
تباعد المصارف	Drain Spacing

obeikandl.com

التجاويف أو الفراغات	vadose
التجدد	Aesthetics
التحري العلاجي	Remedial Investigation
تحسين الكوبري	bridge modification
التحكم	Control
التحكم في الفيضان	Flood Control
التحلل	decay
التحلل الحيوي	biodegradation
التحلل الحيوي اللاهوائي	anaerobic biodegradation
التحلل الحيوي الهوائي	aerobic biodegradation
التحليل الإحصائي	statistical analysis
تحليل الأرباح-التكاليف	Benefit-Cost Analysis
تحليل الارتداد	Regression Analysis
تحليل المخاطر	risk analysis
تحليل النطاق	Scoping analysis
التحليل الهيدرولوجي	Hydrologic analysis
التحليل الهيدروليكي	Hydraulic analysis
تحليل انتقال الرواسب	Sediment Transport Analysis
تحليل حصيلة الترسبات	Sediment Yield Analysis
تحليل مدة التدفق	Flow Duration Analysis
تحليل منحنى الكتلة	Mass Curve Analysis

opeikandi.com

Economic analysis	التحليلات الاقتصادية
diversion of flow	تحويل السريان
Routing	التخديد
Conservation Storage	تخزين الإبقاء
Freeboard or Surplus Storage	تخزين الجزء الظاهر أو الفائض
Dead Storage	التخزين الميت
specific storage	التخزين النوعي
Flood Control Storage	تخزين ضبط الفيضان
Inactive Storage	التخزين غير الفعال
Planning and design	تخطيط وتصميم
Waste Disposal	التخلص من النفايات
Seawater Inhvsion	تداخل مياه البحر
volumetric flow	التدفق الحجمي
baseflow	تدفق القاعدة
Skimming Flow	تدفق الكشاطة
cumulative flows	التدفق المتراكم
streamfl ow	تدفق المجرى المائي
Nappe Flow	التدفق المغترب
Flow toward Drains	التدفق في اتجاه المصارف
Intermittent flow	تدفق متقطع
constant flow	تدفق مستقر

opeikandl.com

تدفقات القمة	Peak Flows
تراكم المياه الجوفية	Groundwater Mound
التردد	frequency
ترسبات الخزان	Reservoir Sedimentation
الترسبات المترسبة	sediment deposition
الترفيه	Recreation
التركيز الأقصى للمعايير	Criteria Maximum Concentration
التركيز المستمر للمعايير	Criteria Continuous Concentration
تركيز المعادن المذابة	dissolved concentration of metals
التسرب	Infiltration
التسرب خلال التصدعات	Infiltration through Fractures
التسرب خلال الفراغات المملوءة بالتربة	Infiltration through Soil-Filled Joints
التسرب في الأنفاق الصخرية	Infiltration into Rock Tunnels
التشبع المفرط	supersaturation
تشتت الحقل البعيد	Far-Field Dispersion
التشتت العرضي	transverse dispersion
تشتت القناة المفتوحة	Open-Channel Dispersion
التشتت المضطرب	turbulent diffusion
التشتت والانتشار الجزيئي	molecular diffusion
التشتت والانتشار الميكانيكي	mechanical dispersion
التشغيل والصيانة	Operation and maintenance

التصاميم الهيدروليكية	Hydraulic designs
تصدع السد	Dam-break
التصرف التصميمي	design discharge
تصريف المواد الملوثة	discharge pollutant
تصميم المرشحات	Design of Filters
تصنيفات المخاطر	Classifications hazard
التصوير الحيوي	bioscreen
تطهير البئر	Well Purging
تطوير البئر	Well Development
التعكر	turbidity
التعويض/ التأمين	indemnification/insurance
التغييرات في النظام الهيدرولوجي	alterations in the hydrologic regime
التفسخ الحيوي	biodegradation
تقاطعات القناة	channel junctions
التقدير الذاتي	self esteem
تقرير الأثر البيئي	environmental impact report
تقلبات الضغط الجوي	Barometric Pressure Fluctuations
تقلبات مستوى المياه	water level fluctuations
تقنيات المعالجة	Remediation Technologies
التقييم الانتقالي	Interim evaluation
التقييم البيئي	environmental assessment

openkandl.com

تقييم التأثر	Impact evaluation
التقييم الدوري	Periodic evaluation
تقييم المصفوفة	Evaluation matrix
التقييم النهائي	Terminal evaluation
التكاليف السنوية	annual costs
تكاليف الصيانة	maintenance cost
التكاليف المتزايدة	Incremental cost
تكلفة رأس المال اليومية الحالية	present-day capital cost
تكلفه رأس المال	capital cost
التكهف	cavitation
تكوين الطبقات السفلية	Substrate composition
تلوث التربة	soil contamination
التلوث السام	toxic contamination
تلوث المجرى المائي	stream pollution
تلوث المياه	water contamination
التميؤ/ الإحلال	hydrolysis/substitution
التنفس الحيوي	bioventing
توثيق	Documentation
التوصيل الهيدروليكي	Hydraulic Conductivity

ج

جدار حماية	Riprap Protection

ob eikandi.com

Schedule	الجدولة
economic feasibility	الجدوى الاقتصادية
Pneumatic dredging	الجرافات الهوائية
Runoff	الجريان السطحي
bridges	الجسور
boulders	الجلاميد
Snowfall	الجليد
Snowmelt	الجليد الذائب
compacted snow	الجليد الملبّد
Data collection	جمع البيانات
hydropower generation potential	جهد توليد القدرة المائية

ح

freeboard	الحافة الحرة
Grain size	حجم الحبيبات
Riprap Sizing	حجم الدكة الحجرية
volume of sediment	حجم الرواسب
Substrate size	حجم الطبقات السفلية
rockfill	الحشوة الصخرية
coarse gravel	الحصى الخشن
sediment yield	حصيلة الترسبات
Damage protection	حماية الضرر

obeikandl.com

حماية المناطق الآهلة	protect populated areas
الحماية من الانجراف	Erosion protection
حنيات صلبة غير منفذة	solid groins
حنيات منفذة	permeable groins
الحنية	Groins
الحنية الجاذبة	attracting groin
الحنية الطاردة	repelling groin
الحنية المستقيمة	Straight groin
حواجز الفيضان المقترحة	levees proposed
الحياة البرية	wildlife

خ

خدمة المحافظة على التربة	Soil Conservation Service
الخرائط التضاريسية	Topographic maps
خزان النبط	SurgeTank
الخزانات	Reservoirs
الخسائر المتوقعة	expected damage
خشونة جدار الأنبوب	pipe wall roughness
خصائص التربة	soil characteristics
خصائص التشتت	dispersion characteristics
الخصائص الكيميائية	chemical characteristics
الخصائص الهيدرولوجية	Hydrologic characteristics

opeikandi.com

الخط الفرعي لتقسيم المياه	Subwatershed
الخطة المقترحة	Proposed plan
الخطوط الإرشادية	guidelines
الخلط الحيوي	biological mixing
الخلط الكامل	complete mixing
خلف السد	behind a dam

د

دالة البئر	well function
الدبش الصخري	Rock Riprap
دراسات الجدوى	Feasibility Studies
درجة التشبع	Degree of saturation
دفعه سنوية	Annualized
الدكة الحجرية	riprap

ر

الرؤوس الخرسانية	Concrete Bulkheads
الراذاذات	Diffusers
الرشح أو التسريب	seepage
رقم المنحنى	Curve Number
رقم ريتشاردسون	Richardson number
رقم رينولد	Reynolds number
رقم فرود	Froude number

opeikandl.com

الرواسب الناعمة	fine sediments

ز

زاوية نقطة الالتقاء	angle of convergence
زمن الانتقال	travel time
زمن التركيز	time of concentration
الزمن الحرج	critical time
زمن تأخر حوض النهر	time basin lag

س

السباحة	Swimming
سدادة الإحكام	Seal
السدود	Dams & Levees
سرعة الترشح	Seepage velocity
السرعة الحرجة	critical velocity
سرعة السريان	flow velocity
سرعة القص	shear velocity
سرعة المياه	water velocity
سرعة لا ترسيب ولا نفايات	Nonsilting, Nonscouring Velocity
سرعة موجة الضغط	velocity of pressure wave
السريان أحادى البعد	One-Dimensional Flow
السريان الاضطرابي	turbulent flow
السريان الانتقالي	transitional flow

obeikandl.com

السريان الحر	Free Surfac Flow
السريان الحرج	critical flows
السريان الدارسي	Darcian Flow
السريان الطبقي	Laminar Flows
السريان الطبقي	sheet flow
السريان المستقر	Steady Flow
السريان المستقر نصف القطري	Steady-State Radial Flow
السريان المضغوط	Pressure Flow
السريان المنتظم	uniform flow
السريان تحت الحرج	Subcritical Flows
السريان خلال المنعطفات	Flow Through Bends
السريان غير الدارسي	Non-Darcian Flow
السريان غير المستقر	unsteady flows
سريان غير المستقر للمياه الجوفية	unsteady groundwater flow
السريان غير المنتظم	Nonuniform Flow
السريان فوق الحرج	Supercritical Flows
السريان في الأنابيب	Pipe Flow
السريان نصف القطري	Radial Flow
السطح الحر	Free surface
سعة الاستيعاب	assimilative
سعة الخزان	reservoir capacity

openlandrc.com

السعة النوعية للبئر	specific capacity of the well
السعر المستقبلي	Future price
سقوط المطر - العمق - المدة- التكرار	rainfall-depth-duration-frequency
السمك المشبع	saturated thickness
السمك غير المشبع	unsaturated thickness
سوائل الطور غير المائي	nonaqueous phase liquids
سوائل الطور غير المائي الثقيلة	Dense nonaqueous phase liquids
سوائل الطور غير المائي الخفيفة	light nonaqueous phase liquids



شدة التساقط	precipitation intensity
شدة سقوط المطر	rainfall intensity
شدة سقوط المطر - المدة- التكرار	Rainfall intensity-duration-frequency
شرخ في سد	breach in a dam
الشكل الليفي المركب	Fabriform
شكل سطح الماء	Water Surface Profiles
الشلالات	Cascades
الشواطئ	Shore



الصخر المتصدع	Fractured Rock
صرف منجم حمضي	acid mine drainage
الصلادة	hardness

alkandi.com

صماء وغير منفذة	Paved and impervious
الصمامات	valves
الصمود أمام الفيضان	Flood Proofing

ض

ضاغط السرعة	velocity head
ضغط البخار	vapor pressure
الضيق	contraction

ط

الطاقة الكلية	total energy
الطاقة المائية	Hydropower
الطاقة النوعية	specific energy
الطبقة المقيدة	Confining Unit
طبقة المياه الجوفية الارتوازية	Artesian Aquifer
طبقة المياه الجوفية الحرة المتسربة	Leaky Phreatic Aquifer
طبقة المياه الجوفية المحصورة	Confined Aquifer
طبقة المياه الجوفية المحصورة المتسربة	Leaky Confined Aquifer
طبقة المياه الجوفية المعلقة	Perched Aquifer
طبقة المياه الجوفية شبه محصورة	Semi-Confined Aquifer
طبقة المياه الجوفية غير محصورة	unconfined aquifer
الطرق الإحصائية	Statistical Methods
طرق التسلسل العشوائي	Stochastic Methods

opeikandi.com

الطرق الحتمية	Deterministic Methods
الطرق المائي	Water Hammer
الطرق المختصرة (الاقتطاع)	Cutoffs
طرق المعالجة	Remediation Methods
طريقة الموجة الكينياتيكية	Kinematic Wave Method
الطلب المتراكم	cumulative demand
طول التصدعات (الشروخ)	length of fractures
طول النفق	length of tunnel
الطول الهيدروليكي	hydraulic length
طول مصفاة البئر	length of well screen

ع

العاصفة الرئيسة	principal storm
عدم استقرار القاع	nutrients, bed instability
العرض العلوي	top width
عرض القاع	bottom width
عرض قمة الأخدود	top width of a gully
علم البيئة	Ecological
عمر المشروع	lifetime of the project
عمق التساقط	precipitation depth
العمق الحرج	critical depth
العمق اللابعدي	dimensionless depth

obeikandl.com

عمق الماء	water depth
عمق المطر	Precipitation depth
العمق الهيدروليكي	hydraulic depth
العمليات البيولوجية والكيميائية	biological and chemical processes
العمليات الهيدرولوجية	Hydrologic Processes
عواقب الفشل	Failure consequences
عوامل التقييم	Evaluation factors
العوامل الملموسة	tangible factors
العوامل غير الملموسة	intangible factors

غ

الغابات	forests
غسل التربة	soil flushing
الغطاء النباتي	vegetation
غلاف البئر	Well Casing

ف

الفاقد أثناء الاتساع	losses due to expansion
الفاقد أثناء الضيق	losses due to contraction
فاقد الاحتكاك	friction loss
الفتحات	nozzles
الفترة الزمنية	time duration
فترة الموجة	wave period

obeikandl.com

فتره العودة	Return periods
الفوائد السنوية	annual benefits
الفوائد المتزايدة	Incremental benefit
فواقد التربة	Soil losses
الفواقد الثانوية	minor losses
فيزيائية	physical
فيضان	Flood

ق

قابلية النقل	transmissibility
قاعدة غير منفذة	Impermeable Base
القدرة الكهرومائية	Hydroelectric Power
القفزة الهيدروليكية	hydraulic jump
قناة التصريف السيفونية	Siphon spillway
قناة التصريف المتدرجة	Stepped spillways
قناة التصريف المستدقة الرأس (الفيضان)	Ogee (Overflow) Spillway
قناة السقوط المباشر	Straight Drop Spillway
قناة تصريف الأنابيب أو الأنفاق	Conduit or Tunnel Spillways
قناة تصريف القابس المنصهر	Fuse-Plug Spillway
قناة تصريف القناة الجانبية	Side Channel Spillway
قناة تصريف مجد الصباح أو حفرة المجد	Morning Glary or Glary Hole Spillway

obeikandl.com

قناة تصريف مسقط مياه السد الحر	Free Overfall Spillway
القنوات الخشنة	rough channels
القنوات القابلة للانجراف	Erodible Channels
القنوات المقتطعة من الأرض	Earth-Cut Spillway
القنوات المكشوفة	Open Channels
القنوات الناعمة	smooth channels
قنوات تصريف الحوض أو الشلال	Chute or Trough Spillways
قنوات تصريف المتاهة	Labyrinth Spillways
القنوات غير القابلة للانجراف	Nonerodible Channels
قوالب الخرسانة المفصلية	Articulated Concrete Blocks
قوام التربة	Soil Texture
قوة الجاذبية	gravitational forces
قوة القصور الذاتي	inertial forces

ك

الكثافة الجافة	dry density
الكثافة الظاهرية	bulk density
كسارة الحجر	rubble stone
كفاءة البئر	well efficiency
كفاءة الحجز	trap efficiency
كمية الترسبات	sediment load
كمية الترسيب المعلق	suspended sediment load

ooeikandi.com

الكمية والجودة	Quantity and quality

م

مئزر (غطاء)	Apron
مؤشرات الاستجابة	Response indicators
مؤشرات الاقتصاد الاجتماعي	Socioeconomic indicators
مؤشرات الحالة	State indicators
مؤشرات الضغط	Pressure indicators
الماء الراكد	still water
الماء العذب	freshwater
الماء المالح	saltwater
متطلبات	Requirements
المتغيرات الهيدروليكية للقنوات	Hydraulic parameters of channels
متوسط التدفق المنخفض لسبعة أيام في عشر سنوات	7-day Average 10-yr Low Flow
المجاري المائية	Waterways
مجموعة المرشحات	Filter Pack
المحاكاة	Simulations
محتوى الأكسجين المذاب	Dissolved Oxygen Content
محتوى الكربون العضوي	organic carbon content
المحتوى المائي	Water content

obeikandi.com

محدودية المياه	Limited water
محطة القدرة	Power Plant
المحيط المبتل	wetted perimeter
المداخل	Intakes
مرافق الطاقة الكهرمائية	hydroelectric facilities
المراقبة الأرضية	Terrestrial monitoring
المراقبة البيئية	environmental Monitoring
المراقبة المائية	Aquatic monitoring
المراقبة والتقييم	monitoring and evaluation
المركبات العضوية القابلة للذوبان الطيارة	volatile soluble organic compounds
المركبات العضوية القابلة للذوبان غير الطيارة	nonvolatile soluble organic compounds
مركبات عضوية شبه طيارة	semi-volatile organic chemicals
المركبات غير العضوية القابلة للذوبان	soluble inorganic compounds
مستوى المياه الجوفية	Water Table
مساحة منطقة الصرف	drainage area
المسامية	Porosity
المسامية الكلية	total porosity
المسح التمهيدي	Preliminary surveys
مسح الحقل	Field surveying

alkanda.com

المسح الطبوغرافي	topographic surveys
المسطحات	Flats
مشروع تقسيم المياه	water division project
مشروعات	Projects
المشروعات الكهرومائية	hydroelectric projects
مشروعات هندسة مصادر المياه	water resources engineering projects
مصادر المياه	Water Resources
المصارف الداخلية	Interior Drainage
مصايد الأسماك	fisheries
مصب السريان	downstream
المصطبة الحادة	Sharp-Crested
المصطبة العريضة	Broad-Crested
مصطبة أو قمة أو ذروة	crest
المصطبة مستدقة الرأس	Ogee Crest
المصفاة	Screen
مطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي	biochemical oxygen demand
مظاهر السطح	geomorphic
مظاهر سطح الأرض (الجيومورفية)	geomorphologic
معادلة الاستمرار	continuity equation
معادلة الاستمرارية	continuity equation
معادلة الانحسار (الارتداد)	regression equation

openkandil.com

energy equation	معادلة الطاقة
Modified Universal Soil Loss Equation	المعادلة العالمية المعدلة للفقد في التربة
universal soil loss equation	المعادلة العالمية للفقد في التربة
Geological Survey Equation	معادلة المسح الجيولوجي
rational formula	المعادلة المنطقية
Isbash Equation	معادلة إيزباش
Einstein-Strickler-Manning Equation	معادلة اينشتين-ستركلر-ماننق
Bernoulli's equation	معادلة برنولي
mass conservation equation	معادلة بقاء الكتلة
Theis equation	معادلة ثايس
Darcy-Weisbach Equation	معادلة دارسي-ويسباك
Dendy and Boulton Equation	معادلة دندي-بولتون
Domenico equation	معادلة دومينيكو
Strickler's Equation	معادلة ستريكلر
Chezy's Equation	معادلة شيزي
Shields Equation	معادلة شيلدز
Camp's Equation	معادلة كامب
Kennedy's Equation	معادلة كيندي
Lacey's Equation	معادلة لاسي
Manning's Equation	معادلة مانتق
Meyer-Peter-Muller Equation	معادلة ماير-بيتر-مولر

obeikandl.com

معادلة هازن—وليم	Hazen-Williams Equation
معادلة هورتون	Horton's equation
المعالجة	Remediation
المعالجة عن طريق الإضعاف الطبيعي	Remediation by Natural Attenuation
معامل إعادة التهوية	re-aeration coefficient
معامل الاحتكاك لدارسي—ويسباك	Darcy-Weisbach coefficient
معامل الاستقرار	stability coefficient
معامل الالتفاف	Kurtosis coefficient
معامل الالتواء	Skew coefficient
معامل التحلل	decay coefficient
معامل التخزين	storage coefficient
معامل التشتت	coefficient of dispersion
معامل التصرف	discharge coefficient
معامل السمك	thickness coefficient
معامل الضيق في الأنابيب	contraction coefficients for pipes
معامل الكربون العضوي	organic carbon coefficient
معامل المرونة الحجمي	modulus of elasticity
معامل أمان	factor of safety
معامل انجراف التربة	soil erodibility factor
معامل توزيع السرعة العمودية	vertical velocity distribution coefficient
معامل سقوط المطر	rainfall factor

openkandil.com

معامل شيزي	Chezy's coefficient
معامل غطاء التربة	soil cover factor
معامل فاقد الانحناء في الأنابيب	bend loss coefficients for pipes
معامل مانتق	Manning's coefficient
معامل هازن- ويليام	Hazen-Williams coefficient
معاملات الانحسار	Regression coefficients
معاملات الجريان السطحي	Runoff Coefficients
المعايير الإنشائية	Structural Measures
المعايير غير الإنشائية	Nonstructural Measures
معدات	equipment
معدل الخصم	discount rate
معدل تخزين الترسبات	rates of reservoir sedimentation
معدل ترسيب الرواسب	rate of sediment deposition
معدل تزايد الأسعار	rate of price escalation
معدل توزيع أو تسليم الترسبات	sediment delivery ratio
معدلات الترسيب	Sedimentation rates
معيار النتيجة	Scoring criteria
المغذيات الكيميائية	Eutrophication
المفائض أو قنوات تصريف المياه	spillways
مفاهيم الموقع النموذجي	Conceptual Site Model
الملوثات المتطايرة	volatile contaminants

obeikandi.com

الملوثات شبه المتطايرة	semi-volatile contaminants
ممرات الفيضان	Flood bypass
مناجم النحاس	Copper mines
مناجم اليورانيوم	uranium mines
مناطق الخلط التنظيمي الحاد	acute regulatory mixing zones
مناطق الخلط التنظيمي المزمن	chronic regulatory mixing zones
المناطق الرطبة	wetlands
المناطق الغارقة	Areas inundated
منبع التدفق أو السريان	upstream
منحدرات نهرية	Riffles
المنحنى المائي	unit hydrograph
المنحنى المائي الوحدوي اللابعدي	Dimensionless Unit Hydrograph
المنحنى المائي للتدفق الطبيعي	the natural flow hydrograph
المنحنيات المائية	hydrographs
المنحنيات المائية المدمجة	Combining Hydrographs
المنحنيات المائية للجريان السطحي	surface runoff hydrograph
منحنيات مودي	Moody's diagram
منسوب المياه الجوفية	groundwater elevation
منشئات الإسقاط	Drop Structures
منشاءات الري	Irrigation structures
منطقة التأثير	Capture zone

openkandi.com

منطقة التربة غير المشبعة	unsaturated soil zones
منطقة الخلط الهيدروديناميكية	Hydrodynamic Mixing Zone
المنطقة المشبعة	Saturated Zone
المنظور التنظيمي	Regulatory Perspective
منهج التسلسل	Continuum Approach
الموائع اللزجة	viscous fluids
المواد الصلبة العالقة	suspended solids
المواد الصلبة المذابة	dissolved solids
موارد الحياة البحرية	living marine resources
المواضيع البيئية	environmental issues
الموجات المتكسرة	breaking waves
الموجات غير المتكسرة	nonbreaking waves
موجة الرياح	Wind Wave
موضوعة عشوائياً	randomly placed
الموقع	Location
المياه البلدية	municipal water
المياه الجوفية	Groundwater
المياه السطحية	Surface water
مياه العواصف	stormwater
المياه المتدفقة	flowing water
المياه النقية	Clean Water

obeikandl.com

ميل الجوانب	side slopes
ميل القاع	bed slope
الميل الهيدروليكي	hydraulic gradient
الميول الجانبية المناسبة	suitable side slope

ن

نتيجة متوسط الأهمية	Weighted average score
نسبة الفراغات	void ratio
نصف القطر الهيدروليكي	hydraulic radius
النظام البيئي	Ecosystem
نظام التخزين والاستدعاء	Storage and Retrieval system
النظام الحراري	thermal regime
نظام إمداد المياه	Water supply systems
نظم المعلومات الجغرافية	GIS
النفاذية	Permeability
نقل الرواسب	Sediment transport
النقل الطبيعي	natural transport
نماذج الحاسب	computer modeling
النماذج الهيدروديناميكية	hydrodynamic models
النماذج الهيدرولوجية	Hydrologic Models
النماذج الهيدروليكية	Hydraulic Models
نماذج محاكاة السريان المستمر	Continuous Flow Simulation Models

opeikandl.com

نمو الموجة	Wave runup

هـ

الهبوط في البئر	drawdown at the well
الهدار عريض المصطبة	broad-crested weir
الهدارات	Weirs
هيئة البيئة العالمية	Global Environment Facility
هيئة المسح الجيولوجي	Geological Survey
هيدرولوجيا	hydrology
هيدروليكا	hydraulic

و

وحدة الوزن الرطبة للتربة	Moist unit weight of soil
وحدة الوزن الظاهرية الجافة للتربة	bulk unit weight of soil
وحدة الوزن لحبيبات التربة	unit weight of soil grains
الوزرة الأفقية	horizontal apron
الوزرة المائلة أو المئزر المنحدر	sloping apron
الوزن الجزئي	molecular weight
الوسط المسامي	Porous Media
الوسط المسامي	porous medium
وصف البدائل	Description of alternatives
الوكالات المنظمة	Regulatory agency
وكالة حماية البيئة	Environmental Protection Agency

obeikandl.com

ثانياً: إنجليزي - عربي

7-day Average 10-yr Low Flow	متوسط التدفق المنخفض لـ سبعة أيـام في عشر سنوات

A

acid mine drainage	صرف منجم حمضي
Act	بيان
acute regulatory mixing zones	مناطق الخلط التنظيمي الحاد
adsorption/ desorption	الأمتزاز/ المج
advection	التأفق
aerobic biodegradation	التحلل الحيوي الهوائي
Aesthetics	التجدد
alterations in the hydrologic regime	التغييرات في النظام الهيدرولوجي
anaerobic biodegradation	التحلل الحيوي اللاهوائي
angle of convergence	زاوية نقطة الالتقاء
annual benefits	الفوائد السنوية
annual costs	التكاليف السنوية
Annual precipitation	الأمطار السنوية
Annualized	دفعه سنوية

obeikandl.com

Apron	مئزر (غطاء)
Aquatic biota	الأحياء المائية
Aquatic monitoring	المراقبة المائية
Areas inundated	المناطق الغارقة
Artesian Aquifer	طبقة المياه الجوفية الارتوازية
Articulated Concrete Blocks	قوالب الخرسانة المفصلية
assimilative	سعة الاستيعاب
attracting groin	الحنية الجاذبة

B

Barometric Pressure Fluctuations	تقلبات الضغط الجوي
baseflow	تدفق القاعدة
bed slope	ميل القاع
behind a dam	خلف السد
bend loss coefficients for pipes	معامل فاقد الانحناء في الأنابيب
Benefit-Cost Analysis	تحليل الأرباح-التكاليف
Bernoulli's equation	معادلة برنولي
biochemical oxygen demand	مطلب الأكسجين الكيميائي الحيوي
biodegradation	التحلل الحيوي
biodegradation	التفسخ الحيوي
biological and chemical processes	العمليات البيولوجية والكيميائية
biological mixing	الخلط الحيوي

obeikandl.com

التصوير الحيوي	bioscreen
التنفس الحيوي	bioventing
الإبحار في الزوارق والقوارب	boating and canoeing
عرض القاع	bottom width
الجلاميد	boulders
شرخ في سد	breach in a dam
الموجات المتكسرة	breaking waves
تحسين الكوبري	bridge modification
الجسور	bridges
المصطبة العريضة	Broad-Crested
الهدار عريض المصطبة	broad-crested weir
الكثافة الظاهرية	bulk density
وحدة الوزن الظاهرية الجافة للتربة	bulk unit weight of soil

C

معادلة كامب	Camp's Equation
تكلفه رأس المال	capital cost
منطقة التأثير	Capture zone
الشلالات	Cascades
التكهف	cavitation
تقاطعات القناة	channel junctions
انتقالات القناة	Channel Transitions

openikandi.com

Channelization	إقامة القنوات
chemical characteristics	الخصائص الكيميائية
Chezy's coefficient	معامل شيزي
Chezy's Equation	معادلة شيزي
chronic regulatory mixing zones	مناطق الخلط التنظيمي المزمن
Chute or Trough Spillways	قنوات تصريف الحوض أو الشلال
Classifications hazard	تصنيفات المخاطر
Clean Water	المياه النقية
coarse gravel	الحصى الخشن
coefficient of dispersion	معامل التشتت
Combining Hydrographs	المنحنيات المائية المدمجة
compacted snow	الجليد الملبّد
complete mixing	الخلط الكامل
computer modeling	نماذج الحاسب
Concentration times	أزمنة التركيز
Conceptual Site Model	مفاهيم الموقع النموذجي
Concrete Bulkheads	الرؤوس الخرسانية
Conduit or Tunnel Spillways	قناة تصريف الأنابيب أو الأنفاق
Confined Aquifer	طبقة المياه الجوفية المحصورة
Confining Unit	الطبقة المقيدة
Conservation Storage	تخزين الإبقاء

obeikandl.com

تدفق مستقر	constant flow
انتقال الملوثات	Contaminant Transport
معادلة الاستمرار	continuity equation
معادلة الاستمرارية	continuity equation
نماذج محاكاة السريان المستمر	Continuous Flow Simulation Models
منهج التسلسل	Continuum Approach
الضيق	contraction
معامل الضيق في الأنابيب	contraction coefficients for pipes
التحكم	Control
مناجم النحاس	Copper mines
مصطبة أو قمة أو ذروة	crest
انغمار المصطبة	crest submergence
التركيز المستمر للمعايير	Criteria Continuous Concentration
التركيز الأقصى للمعايير	Criteria Maximum Concentration
العمق الحرج	critical depth
السريان الحرج	critical flows
الزمن الحرج	critical time
السرعة الحرجة	critical velocity
ثقافية وإبداعية	cultural and recreational
البرابخ	culverts
الطلب المتراكم	cumulative demand

ob eikandl.com

التدفق المتراكم	cumulative flows
رقم المنحنى	Curve Number
الطرق المختصرة (الاقتطاع)	Cutoffs

D

حماية الضرر	Damage protection
تصدع السد	Dam-break
السدود	Dams
السريان الدارسي	Darcian Flow
معامل الاحتكاك لدارسي–ويسباك	Darcy-Weisbach coefficient
معادلة دارسي–ويسباك	Darcy-Weisbach Equation
جمع البيانات	Data collection
التخزين الميت	Dead Storage
التحلل	decay
معامل التحلل	decay coefficient
إزالة التلوث	Decontamination
درجة التشبع	Degree of saturation
معادلة دندي–بولتون	Dendy and Boulton Equation
سوائل الطور غير المائي الثقيلة	Dense nonaqueous phase liquids
وصف البدائل	Description of alternatives
التصرف التصميمي	design discharge
تصميم المرشحات	Design of Filters

openikandl.com

أحواض الاحتجاز	Detention basins
الطرق الحتمية	Deterministic Methods
الراذاذات	Diffusers
العمق اللابعدي	dimensionless depth
المنحنى المائي الوحدوي اللابعدي	Dimensionless Unit Hydrograph
معامل التصرف	discharge coefficient
تصريف المواد الملوثة	discharge pollutant
معدل الخصم	discount rate
خصائص التشتت	dispersion characteristics
تركيز المعادن المذابة	dissolved concentration of metals
الأكسجين المذاب	dissolved oxygen
محتوى الأكسجين المذاب	Dissolved Oxygen Content
المواد الصلبة المذابة	dissolved solids
تحويل السريان	diversion of flow
توثيق	Documentation
معادلة دومينيكو	Domenico equation
مصب السريان	downstream
أنبوب السحب	Draft Tube
تباعد المصارف	Drain Spacing
مساحة منطقة الصرف	drainage area
الهبوط في البئر	drawdown at the well

obeikandl.com

Drop Structures	منشئات الإسقاط
Dry bulk	الانضغاطية
dry density	الكثافة الجافة

E

Earth-Cut Spillway	القنوات المقتطعة من الأرض
Ecological	علم البيئة
Economic analysis	التحليلات الاقتصادية
economic feasibility	الجدوى الاقتصادية
Ecosystem	النظام البيئي
Einstein-Strickler-Manning Equation	معادلة اينشتين-ستركلر-مانِنق
endangered species	الأنواع المهددة بالانقراض
energy dissipation devices	أجهزة تشتيت الطاقة
energy equation	معادلة الطاقة
environmental assessment	التقييم البيئي
environmental impact	الأثر البيئي
environmental impact report	تقرير الأثر البيئي
environmental impact statement	بيان الأثر البيئي
environmental issues	المواضيع البيئية
environmental Monitoring	المراقبة البيئية
Environmental Protection Agency	وكالة حماية البيئة
environmental significance	الأهمية البيئية

opeikandl.com

معدات	equipment
القنوات القابلة للانجراف	Erodible Channels
الانجراف في مجرى السريان	Erosion in the watershed
الحماية من الانجراف	Erosion protection
أخطاء التنبؤ	errors of prediction
المغذيات الكيميائية	Eutrophication
عوامل التقييم	Evaluation factors
تقييم المصفوفة	Evaluation matrix
البخر	Evaporation
البخر نتح	Evapotranspiration
الاتساع	expansion
الخسائر المتوقعة	expected damage

F

الشكل الليفي المركب	Fabriform
معامل امان	factor of safety
عواقب الفشل	Failure consequences
تشتت الحقل البعيد	Far-Field Dispersion
دراسات الجدوى	Feasibility Studies
مسح الحقل	Field surveying
مجموعة المرشحات	Filter Pack
الرواسب الناعمة	fine sediments

obeikandl.com

fisheries	مصايد الأسماك
Flats	المسطحات
Flood	فيضان
Flood bypass	ممرات الفيضان
Flood Control	التحكم في الفيضان
Flood Control Storage	تخزين ضبط الفيضان
flood insurance	تأمين الفيضان
Flood Proofing	الصمود أمام الفيضان
Flow Duration Analysis	تحليل مدة التدفق
Flow Through Bends	السريان خلال المنعطفات
Flow toward Drains	التدفق في اتجاه المصارف
flow velocity	سرعة السريان
flowing water	المياه المتدفقة
forests	الغابات
Fractured Rock	الصخر المتصدع
Free Overfall Spillway	قناة تصريف مسقط مياه السد الحر
Free Surfac Flow	السريان الحر
Free surface	السطح الحر
freeboard	الحافة الحرة
Freeboard or Surplus Storage	تخزين الجزء الظاهر أو الفائض
frequency	التردد

opeikandl.com

الماء العذب	freshwater
فاقد الاحتكاك	friction loss
رقم فرود	Froude number
قناة تصريف القابس المنصهر	Fuse-Plug Spillway
السعر المستقبلي	Future price

G

انتقال الطور الغازي	Gas phase transport
الانتشار الغازي	Gaseous diffusion
البوابات	gates
هيئة المسح الجيولوجي	Geological Survey
معادلة المسح الجيولوجي	Geological Survey Equation
مظاهر السطح	geomorphic
مظاهر سطح الأرض (الجيومورفية)	geomorphologic
نظم المعلومات الجغرافية	GIS
هيئة البيئة العالمية	Global Environment Facility
حجم الحبيبات	Grain size
قوة الجاذبية	gravitational forces
الحنية	Groins
المياه الجوفية	Groundwater
منسوب المياه الجوفية	groundwater elevation
تراكم المياه الجوفية	Groundwater Mound

opeikandi.com

الخطوط الإرشادية	guidelines

H

الصلادة	hardness
معامل هازن- ويليام	Hazen-Williams coefficient
معادلة هازن–وليم	Hazen-Williams Equation
الأماكن التاريخية	Historic Places
الوزرة الأفقية	horizontal apron
معادلة هورتون	Horton's equation
هيدروليكا	hydraulic
التحليل الهيدروليكي	Hydraulic analysis
التوصيل الهيدروليكي	Hydraulic Conductivity
العمق الهيدروليكي	hydraulic depth
التصاميم الهيدروليكية	Hydraulic designs
الميل الهيدروليكي	hydraulic gradient
القفزة الهيدروليكية	hydraulic jump
الطول الهيدروليكي	hydraulic length
النماذج الهيدروليكية	Hydraulic Models
المتغيرات الهيدروليكية للقنوات	Hydraulic parameters of channels
نصف القطر الهيدروليكي	hydraulic radius
الأبنية الهيدروليكية	Hydraulic structures
منطقة الخلط الهيدروديناميكية	Hydrodynamic Mixing Zone

obeikandl.com

النماذج الهيدروديناميكية	hydrodynamic models
مرافق الطاقة الكهرمائية	hydroelectric facilities
القدرة الكهرومائية	Hydroelectric Power
المشروعات الكهرومائية	hydroelectric projects
المنحنيات المائية	hydrographs
التحليل الهيدرولوجي	Hydrologic analysis
الخصائص الهيدرولوجية	Hydrologic characteristics
النماذج الهيدرولوجية	Hydrologic Models
العمليات الهيدرولوجية	Hydrologic Processes
هيدرولوجيا	hydrology
التميؤ/ الإحلال	hydrolysis/substitution
الطاقة المائية	Hydropower
جهد توليد القدرة المائية	hydropower generation potential

I

تقييم التأثر	Impact evaluation
قاعدة غير منفذة	Impermeable Base
التخزين غير الفعال	Inactive Storage
الفوائد المتزايدة	Incremental benefit
التكاليف المتزايدة	Incremental cost
احتمال الزيادة	incremental probability
التعويض/ التأمين	indemnification/insurance

opeikandl.com

Induced Recharge	إعادة الملء المستحث
inertial forces	قوة القصور الذاتي
Infiltration	التسرب
Infiltration into Rock Tunnels	التسرب في الأنفاق الصخرية
Infiltration through Fractures	التسرب خلال التصدعات
Infiltration through Soil-Filled Joints	التسرب خلال الفراغات المملوءة بالتربة
intake structure	بناء المدخل
Intakes	المداخل
intangible factors	العوامل غير الملموسة
Interim evaluation	التقييم الانتقالي
Interior Drainage	المصارف الداخلية
Intermittent flow	تدفق متقطع
Irrigation structures	منشاءات الري
Isbash Equation	معادلة إيزباش

K

Kennedy's Equation	معادلة كيندي
Kinematic Wave Method	طريقة الموجة الكينياتيكية
Kurtosis coefficient	معامل الالتفاف

L

Labyrinth Spillways	قنوات تصريف المتاهة
Lacey's Equation	معادلة لاسي

obeikandl.com

أزمنة الإعاقة أو التخلف	Lag times
بحيرات	Lakes
السريان الطبقي	Laminar Flows
إصلاح الأراضي	Land acquisition
طبقة المياه الجوفية المحصورة المتسربة	Leaky Confined Aquifer
طبقة المياه الجوفية الحرة المتسربة	Leaky Phreatic Aquifer
طول التصدعات (الشروخ)	length of fractures
طول النفق	length of tunnel
طول مصفاة البئر	length of well screen
السدود	Levees
حواجز الفيضان المقترحة	levees proposed
عمر المشروع	lifetime of the project
سوائل الطور غير المائي الخفيفة	light nonaqueous phase liquids
محدودية المياه	Limited water
موارد الحياة البحرية	living marine resources
الموقع	Location
أطول مسار للماء	longest watercourse
التأفق الطولي	longitudinal advection
الفاقد أثناء الضيق	losses due to contraction
الفاقد أثناء الاتساع	losses due to expansion
أدنى تدفق (التدفق المنخفض)	Low flow

obeikandi.com

M

maintenance cost	تكاليف الصيانة
management	الإدارة
Manning's coefficient	معامل مانتق
Manning's Equation	معادلة مانتق
mass conservation equation	معادلة بقاء الكتلة
Mass Curve Analysis	تحليل منحنى الكتلة
maximum contaminant levels	أقصى مستويات تلوث
maximum permissible velocity	أقصى سرعة مسموح بها
maximum shear stress	أقصى إجهاد قص
mechanical dispersion	التشتت والانتشار الميكانيكي
Meyer-Peter-Muller Equation	معادلة ماير-بيتر-مولر
minimum permissible velocity	أدنى سرعة مسموح بها
minor losses	الفواقد الثانوية
Modified Universal Soil Loss Equation	المعادلة العالمية المعدلة للفقد في التربة
modulus of elasticity	معامل المرونة الحجمي
Moist unit weight of soil	وحدة الوزن الرطبة للتربة
molecular diffusion	التشتت والانتشار الجزيئي
molecular weight	الوزن الجزئي
monitoring and evaluation	المراقبة والتقييم
monitoring wells	آبار المراقبة

obeikandi.com

منحنيات مودي	Moody's diagram
قناة تصريف مجد الصباح أو حفرة المجد	Morning Glary or Glary Hole Spillway
المياه البلدية	municipal water

N

التدفق المغترب	Nappe Flow
بيان السياسة البيئية القومي	National Environmental Policy Act
النقل الطبيعي	natural transport
سوائل الطور غير المائي	nonaqueous phase liquids
الموجات غير المتكسرة	nonbreaking waves
السريان غير الدارسي	Non-Darcian Flow
القنوات غير القابلة للانجراف	Nonerodible Channels
سرعة لا ترسيب ولا نفايات	Nonsilting, Nonscouring Velocity
المعايير غير الإنشائية	Nonstructural Measures
السريان غير المنتظم	Nonuniform Flow
المركبات العضوية القابلة للذوبان غير الطيارة	nonvolatile soluble organic compounds
أنف الحنية	nose groin
الفتحات	nozzles
عدم استقرار القاع	nutrients, bed instability

O

آبار الملاحظة	observation wells

openkandil.com

قناة التصريف المستدقة الرأس (الفيضان)	Ogee (Overflow) Spillway
المصطبة مستدقة الرأس	Ogee Crest
السريان أحادي البعد	One-Dimensional Flow
القنوات المكشوفة	Open Channels
تشتت القناة المفتوحة	Open-Channel Dispersion
التشغيل والصيانة	Operation and maintenance
معامل الكربون العضوي	organic carbon coefficient
محتوى الكربون العضوي	organic carbon content
الأكسدة/ الاختزال	oxidation/reduction

P

البئر المخترق جزئياً	Partially Penetrating Well
صماء وغير منفذة	Paved and impervious
الأسطح الممهدة	Paved surfaces
أقصى تدفق	Peak flow
تدفقات القمة	Peak Flows
طبقة المياه الجوفية المعلقة	Perched Aquifer
التقييم الدوري	Periodic evaluation
النفاذية	Permeability
حنيات منفذة	permeable groins
فيزيائية	physical

obeikandl.com

السريان في الأنابيب	Pipe Flow
خشونة جدار الأنبوب	pipe wall roughness
تخطيط وتصميم	Planning and design
الجرافات الهوائية	Pneumatic dredging
البرك	Pools
المسامية	Porosity
الوسط المسامي	Porous Media
الوسط المسامي	porous medium
أقصى احتباس محتمل	potential maximum retention
محطة القدرة	Power Plant
عمق المطر	Precipitation depth
عمق التساقط	precipitation depth
شدة التساقط	precipitation intensity
المسح التمهيدي	Preliminary surveys
تكلفة رأس المال اليومية الحالية	present-day capital cost
السريان المضغوط	Pressure Flow
مؤشرات الضغط	Pressure indicators
العاصفة الرئيسية	principal storm
الاحتمالية	probability
أقصى فيضان محتمل	probable maximum flood
أقصى تساقط محتمل	probable maximum precipitation

openkandil.com

production wells	آبار الإنتاج
Project Alternatives	بدائل المشروع
Projects	مشروعات
Proposed plan	الخطة المقترحة
protect populated areas	حماية المناطق الآهلة
pumping test	اختبار الضخ

Q

Quantity and quality	الكمية والجودة

R

Radial Flow	السريان نصف القطري
rainfall factor	معامل سقوط المطر
rainfall intensity	شدة سقوط المطر
Rainfall intensity-duration-frequency	شدة سقوط المطر - المدة- التكرار
rainfall-depth-duration-frequency	سقوط المطر - العمق- المدة- التكرار
randomly placed	موضوعة عشوائياً
rate of price escalation	معدل تزايد الأسعار
rate of sediment deposition	معدل ترسيب الرواسب
rates of reservoir sedimentation	معدل تخزين الترسبات
rational formula	المعادلة المنطقية
re-aeration coefficient	معامل إعادة التهوية
Recharge by Precipitation	إعادة الملء (التغذية) نتيجة تساقط المطر

obeikandi.com

الترفيه	Recreation
تحليل الارتداد	Regression Analysis
معاملات الانحسار	Regression coefficients
معادلة الانحسار (الارتداد)	regression equation
الوكالات المنظمة	Regulatory agency
المنظور التنظيمي	Regulatory Perspective
التحري العلاجي	Remedial Investigation
المعالجة	Remediation
المعالجة عن طريق الإضعاف الطبيعي	Remediation by Natural Attenuation
طرق المعالجة	Remediation Methods
تقنيات المعالجة	Remediation Technologies
الإزالة	Removal
الحنية الطاردة	repelling groin
إعداد التقارير	Report preparation
متطلبات	Requirements
سعة الخزان	reservoir capacity
ترسبات الخزان	Reservoir Sedimentation
الخزانات	Reservoirs
مؤشرات الاستجابة	Response indicators
فتره العودة	Return periods
رقم رينولد	Reynolds number

obeikandl.com

Richardson number	رقم ريتشاردسون
Riffles	منحدرات نهرية
riprap	الدكة الحجرية
Riprap Protection	جدار حماية
riprap sizes	أحجام أحجار الدكة
Riprap Sizing	حجم الدكة الحجرية
risk analysis	تحليل المخاطر
Rock Riprap	الدبش الصخري
rockfill	الحشوة الصخرية
rough channels	القنوات الخشنة
Routing	التخديد
rubble stone	كسارة الحجر
Runoff	الجريان السطحي
Runoff Coefficients	معاملات الجريان السطحي

S

Safe Yield	الإنتاجية الآمنة
saltwater	الماء المالح
Saturated Zone	المنطقة المشبعة
saturated thickness	السمك المشبع
Schedule	الجدولة
Scoping analysis	تحليل النطاق

obeikandl.com

معيار النتيجة	Scoring criteria
المصفاة	Screen
سدادة الإحكام	Seal
تداخل مياه البحر	Seawater Inhvsion
معدل توزيع أو تسليم الترسبات	sediment delivery ratio
الترسبات المترسبة	sediment deposition
كمية الترسبات	sediment load
نقل الرواسب	Sediment transport
تحليل انتقال الرواسب	Sediment Transport Analysis
حصيلة الترسبات	sediment yield
تحليل حصيلة الترسبات	Sediment Yield Analysis
أحواض الترسيب	sedimentation basin
معدلات الترسيب	Sedimentation rates
الرشح أو التسريب	seepage
سرعة الترشح	Seepage velocity
التقدير الذاتي	self esteem
طبقة المياه الجوفية شبه محصورة	Semi-Confined Aquifer
الملوثات شبه المتطايرة	semi-volatile contaminants
مركبات عضوية شبه طيارة	semi-volatile organic chemicals
المصطبة الحادة	Sharp-Crested
إجهاد القص	shear stress

obeikandl.com

shear velocity	سرعة القص
sheet flow	السريان الطبقي
Shields Equation	معادلة شيلدز
Shore	الشواطئ
Side Channel Spillway	قناة تصريف القناة الجانبية
side slopes	ميل الجوانب
Simulations	المحاكاة
Siphon spillway	قناة التصريف السيفونية
Skew coefficient	معامل الالتواء
Skimming Flow	تدفق الكشاطة
Slope Stability	استقرار الميل
sloping apron	الوزرة المائلة أو المئزر المنحدر
Slug Tests	اختبارات الكتلة
smooth channels	القنوات الناعمة
Snow Loads	أحمال الجليد
Snowfall	الجليد
Snowmelt	ذوبان الجليد أو الجليد الذائب
socioeconomic	اجتماعية اقتصادية
Socioeconomic indicators	مؤشرات الاقتصاد الاجتماعي
Software	برامجيات
soil characteristics	خصائص التربة

obeikandl.com

خدمة المحافظة على التربة	Soil Conservation Service
تلوث التربة	soil contamination
معامل غطاء التربة	soil cover factor
معامل انجراف التربة	soil erodibility factor
انجراف التربة على المنحدرات	Soil Erosion on Slopes
غسل التربة	soil flushing
فواقد التربة	Soil losses
قوام التربة	Soil Texture
حنيات صلبة غير منفذة	solid groins
المركبات غير العضوية القابلة للذوبان	soluble inorganic compounds
السعة النوعية للبئر	specific capacity of the well
الطاقة النوعية	specific energy
التخزين النوعي	specific storage
الإنتاجية النوعية	specific yield
المفائض أو قنوات تصريف المياه	spillways
معامل الاستقرار	stability coefficient
الانحراف القياسي	Standard deviation
مؤشرات الحالة	State indicators
الطرق الإحصائية	Statistical Methods
التحليل الإحصائي	statistical analysis
السريان المستقر	Steady Flow

ooeikandi.com

Steady-State Radial Flow	السريان المستقر نصف القطري
Steep Slopes	الانحدارات الشديدة
Stepped spillways	قناة التصريف المتدرجة
still water	الماء الراكد
Stilling Basins	أحواض الترسيب
Stochastic Methods	طرق التسلسل العشوائي
Storage and Retrieval system	نظام التخزين والاستدعاء
storage coefficient	معامل التخزين
STORET	نظام التخزين والاستدعاء
stormwater	مياه العواصف
Straight Drop Spillway	قناة السقوط المباشر
Straight groin	الحنية المستقيمة
stream pollution	تلوث المجرى المائي
streamfl ow	تدفق المجرى المائي
Strickler's Equation	معادلة ستريكلر
Structural Measures	المعايير الإنشائية
Subcritical Flows	السريان تحت الحرج
Subsidence	الانخساف
Substrate composition	تكوين الطبقات السفلية
Substrate size	حجم الطبقات السفلية
Subwatershed	الخط الفرعي لتقسيم المياه

www.ebookandl.com

الميول الجانبية المناسبة	suitable side slope
السريان فوق الحرج	Supercritical Flows
التشبع المفرط	supersaturation
المنحنيات المائية للجريان السطحي	surface runoff hydrograph
المياه السطحية	Surface water
المياه السطحية	Surface water
خزان النبط	SurgeTank
الأحمال المعلقة	Suspended loads
كمية الترسيب المعلق	suspended sediment load
المواد الصلبة العالقة	suspended solids
استدامة و تحسين	Sustainability and Enhancement
السباحة	Swimming

T

العوامل الملموسة	tangible factors
التقييم النهائي	Terminal evaluation
المراقبة الأرضية	Terrestrial monitoring
بئر اختبار	test well
المنحنى المائي للتدفق الطبيعي	the natural flow hydrograph
معادلة ثايس	Theis equation
النظام الحراري	thermal regime
معامل السمك	thickness coefficient

obeikandl.com

time basin lag	زمن تأخر حوض النهر
time duration	الفترة الزمنية
time of concentration	زمن التركيز
top width	العرض العلوي
top width of a gully	عرض قمة الأخدود
Topographic maps	الخرائط التضاريسية
topographic surveys	المسح الطبوغرافي
total energy	الطاقة الكلية
total maximum daily loads	أقصى أحمال يومية كلية
total porosity	المسامية الكلية
toxic contamination	التلوث السام
transitional flow	السريان الانتقالي
transmissibility	قابلية النقل
transverse dispersion	التشتت العرضي
trap efficiency	كفاءة الحجز
travel time	زمن الانتقال
turbidity	التعكر
turbulent diffusion	التشتت المضطرب
turbulent flow	السريان الاضطرابي

U

unconfined aquifer	طبقة المياه الجوفية غير محصورة

obeikandl.com

uniform flow	السريان المنتظم
unique ecosystems	الأنظمة البيئية الفريدة
unit hydrograph	المنحنى المائي
unit weight of soil grains	وحدة الوزن لحبيبات التربة
universal soil loss equation	المعادلة العالمية للفقد في التربة
unpaved surfaces	الأسطح غير المهدة
unsaturated soil zones	منطقة التربة غير المشبعة
unsaturated thickness	السمك غير المشبع
unsteady flows	السريان غير المستقر
unsteady groundwater flow	سريان غير المستقر للمياه الجوفية
upstream	منبع التدفق أو السريان
uranium mines	مناجم اليورانيوم

V

vadose	التجاويف أو الفراغات
valves	الصمامات
vapor pressure	ضغط البخار
vegetation	الغطاء النباتي
velocity head	ضاغط السرعة
velocity of pressure wave	سرعة موجة الضغط
vent pipe	أنبوب التنفيث

obeikandl.com

vertical velocity distribution coefficient	معامل توزيع السرعة العمودية
viscous fluids	الموائع اللزجة
void ratio	نسبة الفراغات
volatile contaminants	الملوثات المتطايرة
volatile soluble organic compounds	المركبات العضوية القابلة للذوبان الطيارة
volume of sediment	حجم الرواسب
volumetric flow	التدفق الحجمي

W

Water Hammer	الطرق المائي
Waste Disposal	التخلص من النفايات
Waterways	المجاري المائية
water contamination	تلوث المياه
Water content	المحتوى المائي
water depth	عمق الماء
water division project	مشروع تقسيم المياه
water level fluctuations	تقلبات مستوى المياه
Water Resources	مصادر المياه
water resources engineering projects	مشروعات هندسة مصادر المياه
Water supply systems	نظام إمداد المياه
Water Surface Profiles	شكل سطح الماء

obeikandl.com

منسوب المياه الجوفية	Water Table
سرعة المياه	water velocity
ارتفاع الموجة	wave height
فترة الموجة	wave period
نمو الموجة	Wave runup
نتيجة متوسط الأهمية	Weighted average score
الهدارات	Weirs
غلاف البئر	Well Casing
تطوير البئر	Well Development
كفاءة البئر	well efficiency
دالة البئر	well function
تطهير البئر	Well Purging
الآبار	wells
المناطق الرطبة	wetlands
المحيط المبتل	wetted perimeter
الحياة البرية	wildlife
الانجراف بسبب الرياح	Wind Erosion
موجة الرياح	Wind Wave
البنك الدولي	World Bank

obeikandl.com

كشاف الموضوعات

obeikandl.com

ب

ت

obeikandi.com

obeikandi.com


obeikandl.com

نبذة عن المؤلف

الأستاذ الدكتور عبدالرحمن علي العذبة
أستاذ هندسة نظم المياه والري - قسم الهندسة الزراعية
كلية علوم الأغذية والزراعة – جامعة الملك سعود، الرياض
http://faculty.ksu.edu.sa/alazba

- من مواليد ١٣٨١هـ بقرية آل ماشي، محافظة أحدرفيدة، منطقة عسير. التحق عام ١٤٠٠هـ بجامعة الملك سعود، كليةعلوم الأغذية والزراعة، قسم الهندسة الزراعية، وبعد التخرج عين معيدا بالقسم في جمادى الأولى عام ١٤٠٥هـ (١٩٨٥م).
- ابتعث الى الولايات المتحدة الامريكية للحصول على الماجستير والدكتوراة، حيث اكمل مرحلة اللغة الانجليزية بجامعة ولاية أوهايو، كولومبس، اوهايو، ١٤٠٧هـ (١٩٨٥م).
- حصل على الماجستير في الهندسة الزراعية من قسم الهندسة الزراعية والكيميائية بكلية الهندسة، جامعة ولاية كولورادو، ١٤١٠هـ (١٩٨٩م).
- حصل على الدكتوراه في هندسة الري، تخصص رئيس، ومصادر المياه (ادارة وهيدروليكا)، تخصص رديف من قسم هندسة الموارد الطبيعية والزراعية بكلية الهندسة والمعادن، جامعة اريزونا، ١٤١٤ هـ (١٩٩٤م).
- اهتماماته البحثية في مجال المياه والري مرتبطة بتقدير الطلب على مياه الري في المملكة، وتحسين طرق تقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل، وإدارة مياه الري، وترشيد المياه ورفع كفاءة استخدامها في الري على النحو الأمثل، وحصاد المياه واستغلال مياه الأمطار في الري، والري الناقص وتطبيقاته في المملكة. نشر العديد من الابحاث في النمذجة والبرمجة، والأمثلية واستخدام نظم المعلومات الجغرافية، ونظم القرار المساند.

- أستاذ هندسة نظم المياه والري والمشرف على كرسي الشيخ محمد بن حسين العمودي لأبحاث المياه، وترأس قسم الهندسة الزراعية بجامعة الملك سعود، وشارك في عضوية كثير من اللجان، ومنها اللجنة الوطنية لترشيد مياه الري، وخبير إيفاد الداخلي في مشروع تطوير سهول تهامة ومناطق جازان لدراسة المياه وشبكات الري، وشارك في اللجنة السعودية-اليابانية لدراسة الموت القمي في منطقة عسير (مجموعة المياه والأرصاد المناخية)، وعضو اللجنة الفرعية للمياه والري بالغرفة التجارية بالرياض، عضو فريق دراسة وضع الري في المملكة العربية السعودية، وعضو مبادرة ترشيد استخدام المياه في الري بصندوق التنمية الزراعية.
- عضو جمعية المهندسين المدنيين الأمريكية، وجمعية المهندسين الزراعيين الأمريكية، وجمعية المهندسيين الزراعيين الآسيوية، والجمعية السعودية للعلوم الزراعية، وعضو مؤسس في جامعة أهلية، وعضو مؤسس في جمعية القمح السعودية، وعضو في جمعية حماية المستهلك. وعضو اللجنة العليا الإشرافية للبوابة الإلكترونية بجامعة الملك سعود، ومستشار فريق تقنية المعلومات والبوابة الإلكترونية لكلية علوم الأغذية والزراعة.
- مستشار غير متفرغ بوزارة التعليم العالي ووكالة جامعة الملك سعود للشئون الأكاديمية، ومستشار متعاون مع شركات زراعية لترشيد المياه والطاقة ونشر ثقافة وتطبيق إدارة مياه الري في المملكة العربية السعودية.
- أشرف على رسائل ماجستير وممتحن خارجي لرسائل الدكتوراه.
- ألف كتاب ميكانيكا الموائع التطبيقية، وترجم مع آخرون كتاب تصميم نظم الري "المنظور الهندسي".
- له محاولات جادة في تفعيل وتطبيق إدارة المياه والري في المملكة، ومن خلال تجاربه في ذلك تبين أن التحدي كبير ويحتاج إلى بذل الكثير من الجهد والتضحية.